



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA ČEPU S PŘÍRUBOU

MANUFACTURING OF PIN WITH FLANGE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Procházka

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2019

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Pavel Procházka**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Výroba čepu s přírubou

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby čepu s přírubou z oceli. Součástka je prostorového tvaru a bude vyráběna technologií zápusťkového kování. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

### Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit technologičnost čepu,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj,
- zhotovit výkres sestavení, kusovník a výkresy vybraných pozic,
- provést technicko–ekonomické hodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

HÝSEK, Rudolf. Tvářecí stroje 1971. 1. vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1972.

HAŠEK, Vladimír. Kování. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.

PRIMUS, František. Teorie objemového tváření. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1990. s. 250.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

PROCHÁZKA Pavel: Výroba čepu s přírubou.

---

Práce se zabývá návrhem výroby čepu tažného zařízení použitého u traktoru. Součást se bude vyrábět technologií zápustkového kování z nízkolegované oceli 13 242. Materiál je dodáván v podobě válcovaných tyčí za tepla o průměru 60 mm a délce 6 000 mm. Velikost výrobní série byla stanovená na 25 000 kusů ročně. Vzhledem k dané problematice a velikosti výkovku bude součást vyráběná na bucharu. Jako vhodný stroj se jeví buchar Šmeral KHZ 8A, jelikož kovací práce byla vypočtená asi 89 kJ. Technicko – ekonomické zhodnocení zohledňuje náklady na materiál, které činí 1 364 271 Kč. Zápustka je vyrobená z nástrojové oceli 19 663, její pořizovací cena je 73 000 Kč.

Klíčová slova: čep, ocel 13 242, zápustkové kování, buchar

## **ABSTRACT**

PROCHÁZKA Pavel: Manufacturing of pin with flange.

---

The bachelor thesis is focused on the design of the towing hitch, which is used in the tractor. The component will be the production of a die forging technology made of low-alloy steel 13 242. The material is supplied as hot-rolled bars with a diameter of 60 mm and a length of 6 000 mm. The size of the production series has been set at 25,000 pieces per year. Due to the issue and the size of the forging, the component will be made on a power hammer. The machine Šmeral KHZ 8A, appears to be a suitable machine as the forging work was calculated at 89 kJ. The technical - economic evaluation takes into account material costs, which amount to 1,364,271 CZK. The die is made of tool steel 19 663, its purchase price is 73 000 CZK.

Keywords: pin, steel 13 242, die forging, power hammer

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

PROCHÁZKA, Pavel. *Výroba čepu s přírubou*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116660>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V ..... dne 24.5.2019

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Kamil Podaný, Ph.D za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu a pomoc.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ</b> .....	10
1.1 Variantní řešení.....	11
<b>2 TECHNOLOGIE ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ</b> .....	14
2.1 Ohřev a opal .....	16
2.2 Návrh výkovku .....	18
2.3 Síla a práce .....	21
2.4 Zápustka .....	22
2.4.1 Výronková drážka .....	23
2.4.2 Vedení .....	24
2.4.3 Upínání .....	25
2.5 Stroje .....	25
2.6 Maziva .....	27
2.7 Technologičnost .....	27
<b>3 NÁVRH VÝROBY</b> .....	28
3.1 Stanovení mezních úchylek.....	30
3.2 Ohřev polotovaru.....	33
3.3 Výronková drážka – tvar a velikost .....	34
3.4 Velikost výchozího polotovaru .....	34
3.5 Volba stroje.....	36
3.6 Volba nástroje – zápustky .....	37
<b>4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ</b> .....	40
<b>5 ZÁVĚRY</b> .....	42

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam výkresů



## ÚVOD [6], [7], [17], [22], [27], [29]

Jedním z neodmyslitelných odvětví strojírenství je proces tváření, kdy materiál získává jiný tvar a odlišné mechanické vlastnosti. Na rozdíl od obrábění je materiál tvarován pomocí síly, nedochází tak k jeho porušení s výjimkou stříhání, kde to je žádoucí. Technologie tváření nese celou řadu výhod. Mezi ty hlavní může být zařazeno nízké procento odpadu, dobré mechanických vlastností materiálu, přesnost, povrch atd. Pro zvýšení efektivnosti je možné využít prvky automatizace. Mezi nevýhody můžeme zařadit poměrně vysoké finanční náklady na stroj a nástroj. Tváření lze dále rozdělit na objemové a plošné, pokud je materiál ohříván nad teplotu rekrystalizace, jde o tváření za tepla, pod hranicí zmíněné teploty se bavíme o tváření za studena.

Technologii tváření je možno rozdělit na dvě hlavní skupiny, a to tváření objemové a tváření plošné. Do technologie plošného tváření se řadí procesy tažení, stříhání, ohýbání atd. Metody, jako například pěchování, protlačování a kování jsou řazeny do tváření objemového. Na obrázku 1 jsou vidět součásti vyráběné právě technologií kování.



Obr. 1 Součásti zhotovené zápustkovým kováním [6], [7], [17], [22]

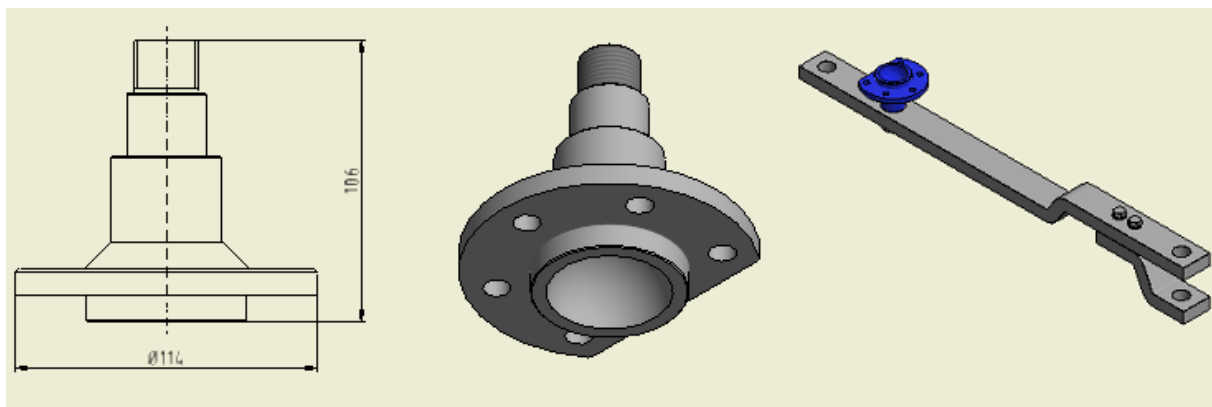
## 1 ROZBOR ZADÁNÍ [1], [4], [10], [16], [23], [30], [37]

Řešenou součástí je čep nosiče zařízení, viz obr. 2. Tento díl se používá u traktorů značky Zetor, kdy pomocí tohoto čepu pevně přišroubovaného ke spodní části rozvodové skříně traktoru je uchyceno tažné zařízení, sloužící pro připojení vleku a dalších zemědělských strojů, jak je možné vidět na obrázku 2. Součástí čepu je kruhová příruba, pomocí které je čep uchycen.

Jelikož jsou na čep kladeny poměrně vysoké mechanické požadavky, je v přírubě rovnoměrně rozloženo 5 děr pro šrouby M10x1,5. Celková výška čepu činí 106 mm a největší průměr (průměr příruby) měří 114 mm, viz obr. 3. Spodní část čepu je opatřena osazením, které slouží k přesnému ustavení čepu do tělesa rozvodové skříně traktoru. Na horní části čepu je zhotoven závit M24x2, sloužící k zajištění tažného zařízení na čepu maticí, kterou lze proti samovolnému povolení zajistit pružnou podložkou nebo závitovým lepidlem. Přesnost rozměrů musí být zaručena na dosedací ploše příruby, na osazení určujícím ustavení čepu, dále na kruhovém poli děr pro uchycení čepu a také na průměru nesoucí tažný segment. Mimo tyto rozměry nejsou kladeny zvláštní nároky na přesnost, není tedy nutné využívat speciálních rozměrových a geometrických tolerancí. Pro obráběné plochy je běžně dosažitelná drsnost při soustružení Ra 3,2 dostačující. Součástka je nyní vyráběna jako náhradní díl, z tohoto důvodu bude předpokládána série činit 25 000 ks/rok.



Obr. 2 Čep; Tažné zařízení [1], [37]



Obr. 3 Čep nosiče zařízení

Při jízdě traktoru s přívěsem nebo jiným zařízením bude dílec mechanicky namáhán a dále musí odolávat vlhkosti, prašnosti, případně i soli, vzhledem k jeho poloze nemusíme vliv nadměrných teplot zahrnovat. Je tedy potřeba volit materiál s ohledem na tyto požadavky. Jako vhodný materiál se jeví oceli třídy 13, jde o konstrukční nízkolegované oceli legované nejčastěji manganem nebo křemíkem. Tato třída ocelí je využívána tam, kde vlastnosti běžných uhlíkových ocelí jsou nedostatečné, nebo tam, kde náklady na oceli chromové, případně chromniklové by byly zbytečně velké. Jako materiál pro výrobu této součásti je zvolena ocel 13 242, tato ocel vyniká dobrou tvařitelností za tepla a také dobrou obrobitelností v žíhaném stavu. Vhodné využití součástí z této oceli je tam, kde se vyskytuje značné mechanické namáhání, jde především o hřídele, čepy automobilů nebo traktorů apod. Nejde o korozivzdornou ocel, z tohoto důvodu bude čep v konečné fázi výroby opatřen vhodnou povrchovou úpravou, jako je ochranný nátěr nebo žárové zinkování, čímž získáme ochranu před atmosférickými jevy, tedy delší životnost součásti. Chemické složení oceli a její mechanické vlastnosti jsou popsány v následujících tabulkách 1 a 2.

Tab. 1 Chemické složení oceli 13 242 [4]

ČSN	Chemické složení [%]					
	C	Mn	Si	V	P	S
41 3242	0,36 – 0,46	1,50 – 2,00	0,15 – 0,40	0,07 – 0,15	max. 0,035	max. 0,035

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 13 242 [4]

Mechanické vlastnosti – zušlechtěný stav			
$R_{\min}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	A [%]	Z [%]
686	932 – 1079	10	40

## 1.1 Variantní řešení [3], [9], [19], [22], [23], [27], [34]

Výrobu čepu je možné zajistit více technologiemi, každá tato technologie má své výhody, ale také nevýhody. Metoda, kterou bude čep vyráběn, musí poskytovat potřebné mechanické vlastnosti součásti, vhodnou strukturu povrchu, nízké ekonomické náklady a pokud možno co nejkratší časovou náročnost výroby. S ohledem na tyto požadavky lze výrobu zajistit metodami:

- Třískové obrábění – proces, při kterém je přebytečný materiál z polotovaru odebrán ve formě třísky, čímž získáváme již hotový kus nebo vytváříme nástroj pro jinou výrobní technologii, jako je tváření, stříhání, slévání atd. Obecně je technologie třískového obrábění jednou z nejvíce rozšířených metod sloužících ke zpracování hutních polotovarů. Nevýhodou je vysoké procento mechanické energie, které se přemění na energii tepelnou. Takto vzniklé teplo má negativní vliv na rezní vlastnosti nástroje a podílí se také na deformačním zpevňování materiálu. Obráběním je rozrušena vláknitá struktura, což má za následek snížení mechanických vlastností, vzhledem k velké



Obr. 4 Obrábění [5]

rozmanitosti průměrů a sérii 25 000 kusů za rok by vznikalo velké množství odpadu, což činí metodu nevhodnou. Obrábění bude nutné pouze pro funkční plochy součástí.

- Svařování – proces, kdy za působení tepla, případně tlaku vznikají nerozebíratelná spojení dvou, či více součástí. Takto vytvořené celky nazýváme svařenci nebo také svarky. Proces je možné uskutečnit s použitím přídavného materiálu, který má mít podobné složení, jako má svařovaný materiál, ale lze svařovat i bez něj. Mezi výhody svařovaných součástí patří vysoká pevnost spoje, těsnost a také trvanlivost. Porovnáme-li tuto metodu s odléváním, je úspora materiálu až poloviční. Vnášením tepla do materiálu se při svařování negativně mění jeho struktura a tím i mechanické vlastnosti, v bezprostřední blízkosti svaru vzniká tzv. tepelně ovlivněná oblast, kde dochází ke vnitřnímu pnutí a vzniku různých vnitřních vad, jako jsou trhliny, póry, staženiny atd. Svařitelnost je zaručena u ocelí s obsahem uhlíku do 0,22 %. Obsah uhlíku u zvolené oceli 13 242 tuto hodnotu přesahuje a svařitelnost by tedy byla obtížná. Vzhledem k tomuto faktu a nízké produktivitě svařování je tento proces nevhodný.



Obr. 5 Svařování [25]

- Odlévání – způsob výroby, kde vstupní surovinou je roztavený kov nebo jiný materiál, který se vlije do dutiny formy. Tato dutina je negativem požadované součásti. Odléváním je možné získávat odlitky složitých prostorových tvarů, od těch nejmenších, až po několikátunové. Na správné vyplnění formy má vliv samotná konstrukce odlitku a v neposlední řadě zabíhavost roztaveného materiálu. Tento pojem je chápán jako schopnost tekoucího kovu zaplnit dutinu formy. Při tuhnutí některých slitin kovů dochází k velkému smršťování, které je nutné řešit použitím tzv. nálitků. Tyto nálitky bývají následně z odlitku odstraněny, čímž klesá využití tekutého kovu a rostou náklady na jejich odstranění. Při odlévání hrozí riziko vzniku vad, jako jsou např. bubliny, porezita, staženiny a nezaběhnutí, vznik těchto vad lze eliminovat správně zvolenou technologií odlévání, vhodným umístěním nálitků,

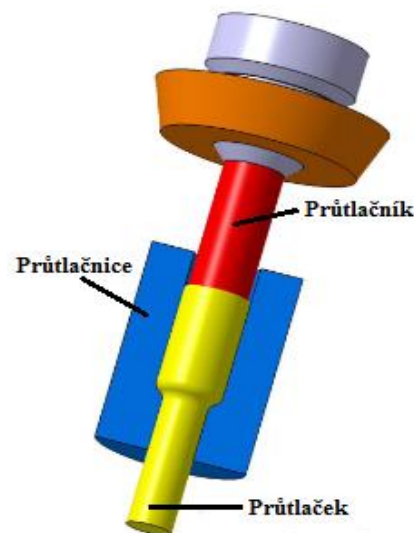


Obr. 6 Odlévání [36]



tvarem odlitku atd. Po ztuhnutí získává odlitek hrubou lící strukturu, která z hlediska mechanických vlastností není dostačující pro vysoce namáhané součásti typu čep.

- Protlačování kovů za studena – jde o pokrokovou technologii, proces je prováděn jako objemové tváření za nižších teplot, než je teplota rekrystalizace. Metodou získáváme vysoké mechanické vlastnosti protlačované součásti, nárůst meze kluzu a pevnosti, příznivý průběh vláken, který není porušen a minimální procento odpadu z výchozího polotovaru. Mezi základní druhy protlačování patří: protlačování zpětné, dopředné atd. Nejčastěji jsou protlačovaná tělesa symetrických tvarů podle osy, tato tělesa lze dále rozdělit na plná a dutá. Drsnost povrchu součástí vyráběných protlačováním za studena se pohybuje na hranici mezi broušením a leštěním. Výhodou této metody je již zmíněná vysoká pevnost průtlačku a vhodnost pro hromadnou výrobu. Ocel, ze které bude čep vyráběn, je vhodná pro tváření za tepla, pro tuto metodu je nevhodná z hlediska poměrně vysoké pevnosti, životnost nástroje by tedy byla nízká.



Obr. 7 Protlačování [21]

- Zápustkové kování – tímto pojmem označujeme objemové tváření kovu probíhající za tepla v dutině zápustky, tvar této zápustky odpovídá tvaru vyráběného dílce zvětšeného o přídavky. Přetvoření materiálu může být uskutečněno pomocí klidné síly lisu nebo rázové síly bucharu. Polotovar ohřátý na kovací teplotu je vložen do dutiny spodního dílu zápustky, dutina bývá otevřená – při kování se tvoří tzv. výronek nebo uzavřená – kování bez výronku. Příznivý průběh vláken, vysoká produktivita, možnost zhotovení tvarově složitých výkovků, tyto vlastnosti řadíme mezi výhody této metody. Nevýhodou bývá poměrně vysoká cena nástroje, na který jsou kladeny vysoké požadavky z důvodu docílení co nejvyšší životnosti tohoto nástroje. U lisů bývá obecně horší opadávání okují, než jak je tomu u bucharů, hrozí tedy tzv. zakování okují do povrchu kované součásti. I s ohledem na tyto nedostatky je zápustkové kování nejvhodnější metodou pro výrobu daného čepu.



Obr. 8 Zápustkové kování [11]

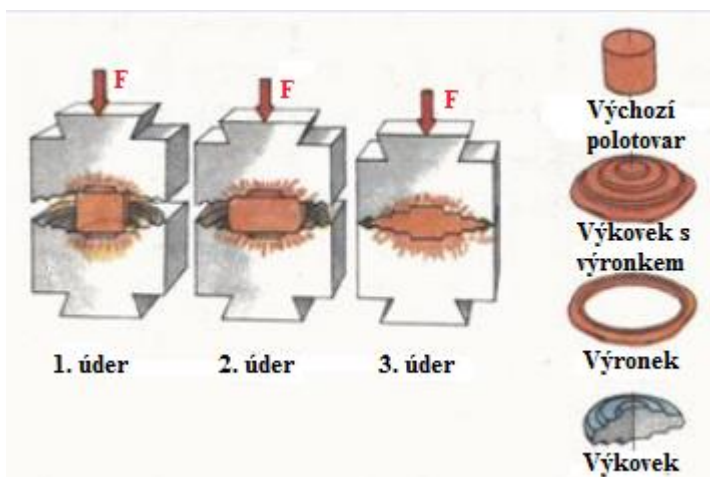
Z rozboru možných technologií výroby vychází jako nejvhodnější metoda pro výrobu čepu zápustkové kování. Tato metoda byla zvolena především z důvodu vysoké produktivity výroby a zachování vhodného průběhu vláken, čímž výkovek získává požadované mechanické vlastnosti. Nevhodnost jiných metod je popsána výše. Vyráběnou součást lze řadit do kategorie drobnějších výkovků a je spíše vyššího a štíhlého tvaru, kovacím zařízením tedy bude buchar, který je vhodný pro menší výkovky a zároveň se vyznačuje lepší stoupavostí materiálu oproti lisu. Následující teoretická i praktická část práce bude zaměřena na zápustkové kování, přičemž funkční plochy budou zhotoveny triskovým obráběním.

## 2 TECHNOLOGIE ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ [9], [10], [26], [27], [29], [32]

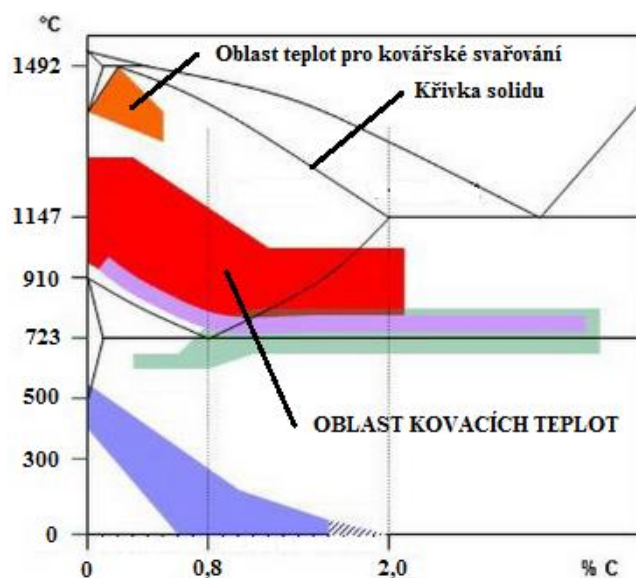
Zápustkové kování patří mezi jednu ze základních operací objemového tváření za tepla. Jde o proces probíhající v dutině zápustky, jenž má tvar budoucího výkovku zvětšeného o přídavky. Metoda se vyznačuje vhodným uspořádáním vláken, která kopírují tvar dutiny zápustky, čímž je zajištěna vysoká mechanická pevnost výkovku, proces je možné snadno automatizovat a produktivita výroby je spolu s úsporou materiálu vysoká. Výkovky zhotovené touto metodou bývá obvykle nutné dále obrábět z toho důvodu, že technologie mnohokrát neumožní vytvořit dílec požadované jakosti povrchu a přesnosti rozměrů, které bývají na součástech požadovány.

Na počátku samotného procesu je nutné polotovar ohřát na kovací teplotu, tento polotovar se následně vkládá do dutiny spodní zápustky a přetvoření polotovaru je provedeno pomocí horní zápustky. Kovat je možné v otevřené dutině zápustky, kdy vzniká výronek nebo v dutině uzavřené, ve které výronek nevzniká. Výronek je tvořen přebytečným materiálem, který vtéká do výronkové drážky v konečné fázi dokování. Obecně se materiálový tok řídí zákonem nejmenšího odporu. Větší objem polotovaru se při kování do otevřené dutiny vkládá záměrně, z důvodu ať už rozměrových nebo teplotních nepřesností v přípravě výroby, tento nadbytek materiálu v podobě výronku se po vykování odštíhuje. Nezbytným úkonem je rozhodnutí, zdali polotovar bude kován na bucharu, viz obr. 9 nebo na lisu, v případě bucharu se tváří úder, kdežto lis využívá tlaku.

Základním krokem k získání patřičné tvárnosti je dodržení dané kovací teploty, která zpravidla bývá nejvyšší možná pro konkrétní materiál, z důvodu nejsnadnějšího přetvoření při této teplotě, čímž je také zajištěna kratší doba kování a namáhání zápustek není tak výrazné. Rozmezí teplot může být poměrně úzké, což platí pro vysokolegované oceli, kdy při vysoké kovací teplotě vzniká dosti hrubozrnná struktura, opakem je nízká kovací teplota, která je důsledkem vzniku trhlin, z tohoto důvodu je nutné tyto oceli mnohdy častokrát přehřívat, což platí pro výkovky větších rozměrů. Pro oceli je horní kovací teplota určena teplotou tavení, pohybuje se přibližně 200 až 300 °C pod křivkou solidu viz obr. 10, naopak spodní hranice kovacích teplot pro uhlíkové oceli je dána přeměnou fáze gama na fázi alfa. Obecně lze prohlásit, že teploty pro zápustkové kování bývají zpravidla vyšší než pro kování volné.



Obr. 9 Postup kování na bucharu [26]



Obr. 10 Oblast kovacích teplot [9]

Při dlouhé době stagnace na vysoké teplotě hrozí riziko zhrubnutí zrna, to lze následně zjemnit patřičně velkým stupněm prokování, není-li ani to možné, musí být ke zjemnění využity jiné tepelné operace. Z tohoto důvodu se kovací teploty volí s ohledem na stupeň deformace, zvláště teploty ve finální fázi kování, protože zde je už stupeň přetvoření velice nízký. Tento předpoklad je nutno splnit v případě, kdy výkovek již nebude dále tepelně zpracován.

Za vysokých kovacích teplot vzniká v oxidační atmosféře poměrně vysoké množství opalu, případně spálenin. Materiál, který je spálený, už není možné napravit a opal je důsledkem ztrát na hmotnosti výkovku. Mimo jiné jsou vysoké kovací teploty příčinou ztrát uhlíku v povrchové vrstvě a podílí se také na vzniku vnitřního pnutí. Mezi nejčastěji vyskytující se problémy při ohřevu kovu na tvářecí teplotu patří:

- Přehřátí a spálení oceli – velice důležitým krokem je správné určení kovacích teplot, ať už se jedná o kování volné nebo zápustkové. Samotná volba je důležitá nejenom z technologického, ale i ekonomického hlediska. Tento škodlivý prvek, kterým je přehřátí, či spálení oceli bývá v procesech kování proslulý, však dosud ne tak úplně objasněný. Přehřátí oceli může být dvojího druhu, tzv. přehřátí bez ovlivnění hranic zrn nebo přehřátí s ovlivněním hranic zrn. V prvním případě dochází k překrystalizaci hrubého zrna austenitu, což zapříčiňuje vznik Widmannstättenovy struktury, kterou je možné odstranit normalizačním žíháním výkovku nebo jeho zušlechtním. To znamená, že tato struktura tedy není trvalá a po jejím odstranění vzniká ideálně jemné zrn, jako tomu bývá u výkovků kovaných za teplot nižších. Tento jev nemusí vždy způsobovat vysoká teplota ohřevu, ale může být také zapříčiněn nadměrnou teplotou při dokování. Další oblastí, kde tento jev může nastat je technologie volného kování, kdy již hotová část výkovku bývá opakovaně ohřívána, ale už nedochází k jejímu překováním. Naopak jevem s trvalými následky bývá přehřátí oceli s ovlivněním hranic zrn. Toto skutečné přehřátí oceli dle současných názorů není ovlivněno atmosférou pece, ve které je polotovár ohříván, ale souvisí s dobou a teplotou ohřevu a vlastním složením oceli. Příčinou vedoucí k přehřátí oceli je dle výzkumem podložených názorů síra, kterou ocel obsahuje převážně ve formě FeS a MnS. Vysoká teplota způsobuje rozpouštění síry v oceli a ta difunduje na hranice zrn austenitu. Teploty způsobující difuzní pochody jsou velmi vysoké, přibližují se teplotám odpovídajícím počátku tavení oceli, protože za nižších teplot je difuze a rozpustnost síry v oceli velmi nízká. Náklonnost oceli k přehřátí nebývá pokaždé stejná, nejvíce je ovlivněna chemickým složením oceli, překvapujícím je, že ani u ocelí stejného chemického složení se teplota přehřátí nemusí shodovat, poněvadž způsob výroby oceli do jisté míry také ovlivňuje její náklonnost k přehřátí.
- Spálení oceli – k tomuto nežádoucímu jevu dochází při teplotě ohřevu blížíící se teplotě tavení. Vysoká teplota je příčinou natavování hranic zrn austenitu. V roztavené oblasti okolo jednotlivých zrn se mimo již dříve rozpuštěnou síru začíná rozpouštět také fosfor, který vlivem difuze přechází do roztavené oceli. Na hranicích spálených zrn austenitu je po ochlazení oceli možné objevit mimo vyloučených siřníků také místa obohacená o fosfor, ve výjimečných případech se také mohou vyloučit fosfidy. Po spálení oceli její mechanické vlastnosti významně klesají a ocel se stává vysoce křehkou. Špatné mechanické vlastnosti je možné částečně zlepšit překováním, obecně se však spálená ocel považuje za neopravitelnou. Přehřátí nebo spálení oceli je možné kontrolovat už při samotném procesu kování, kdy se během přetvoření projevuje vznikem trhlin, nicméně nejspolehlivější metodou, jak dokázat spálení oceli je provést metalografické leptání nitalém. Spálení oceli se také projevuje významně sníženou tažností a vrubovou houževnatostí.

- Vznik okují při ohřevu oceli – ke vzniku okují dochází v pecní atmosféře, ve které je přítomen kyslík, oxid uhličitý a vodní pára. Existenci a tloušťku zoxidované vrstvy ovlivňuje teplota, doba oxidace, pecní atmosféra a její oxidační schopnosti. Na množství vzniklých okují má vliv také chemické složení oceli. U nízkouhlíkové oceli je rychlost oxidace vyšší než u oceli vysokouhlíkové, existují však prvky, kterými lze rychlost oxidace snížit, patří mezi ně hliník, chróm, křemík atd. Okuje do teploty 570 °C téměř nevznikají, jejich růst je značný až při teplotách ohřevu pohybujících se v rozmezí 900 ÷ 1300 °C. Se zvětšující se dobou ohřevu klesá rychlost růstu okují, tento jev je zapříčiněn zhoršením přístupnosti plynů na povrch kovu.
- Oduhličení – příčinou oduhličení povrchu oceli, které probíhá současně s oxidací je působení kyslíku. Oxidace však neproniká do takové hloubky jako oduhličení, které ovlivňuje povrchové pásmo oceli, jenž nebylo dosud poznamenáno okujením. Zabránit oduhličení je nezbytné především u tepelného zpracování výkovků jako je kalení, kdy povrchová vrstva bez uhlíku nedosahuje požadované tvrdosti.

## 2.1 Ohřev a opal [10], [30], [33]

Ohřev materiálu pro zápusťkové kování může být zajištěn několika způsoby, mezi nejčastěji používané patří:

- Plynový ohřev – jedním z druhů pecí používajících tento ohřev jsou pece komorové, kterých existuje celá řada typů. Mohou se lišit konstrukcí, provedením, složením vyzdívky, polohou hořáků a jejich počtem atd. Umístění hořáků může být v bočních stěnách nebo v klenbě, je však možné přidat hořáky směřující do kanálu pod nístějí, čímž je zaručen oboustranný ohřev. Spaliny z těchto hořáků jsou odváděny opět do pracovního prostoru pece. Výbavou komorových pecí bývá běžné měřicí a registrační zařízení. Průchod materiálu pecí a ohřev není kontinuální, což je nevýhodné. U tohoto typu pecí nebývá odpadní teplo ze spalin využíváno pro předehřev materiálu, tudíž další nevýhodou komorových pecí je relativně nízká tepelná účinnost. Odpadní teplo spalin je možné využít k předehřátí spalovacího vzduchu v tzv. rekuperátorech, což je přídatné zařízení k daným pecím. U komorových pecí bývá problémem kolísání teploty, které je způsobeno vkládáním studeného materiálu, velikostí pracovního prostoru pece a především velikostí vsázky.
- Ohřev přímým průchodem proudu – tento způsob ohřevu se hodí pouze pro ohřívání poměrně štíhlých polotovarů, jako jsou tyče, trubky, dráty atd. Ze speciálního transformátoru je do vsázky zaveden proud prostřednictvím specifických elektrod, které často bývají chlazeny vodou. Regulace napětí se provádí buď na samotném transformátoru, nebo přepínáním odboček na primárním (vstupním) vinutí. Tato metoda ohřevu má nepatrně vyšší účinnost v porovnání s ohřevem indukčním, ale z důvodu neustále nutného kontaktu mezi systémem elektrod a vsázkou bývá proces indukčního ohřevu častokrát výhodnější. Mechanizovat ohřev pro tuto metodu je častokrát složité a nákladné, při vysokých ohřívacích prouděch využívaných k ohřevu materiálu o velkém průměru se objevují problémy s elektrodami a celkově se zavedením vysokých proudů do vsázky. Další nevýhodou je celkové ohřátí tyče při postupném kování, kdežto metoda indukčního ohřevu umožňuje provést ohřev lokálně.



- Nepřímý odporový ohřev – tento způsob ohřevu se při tváření využívá pro ohřev polotovarů na teploty nepřesahující hranici 1000 °C a pro menší výrobní série. Nevýhodou této metody je poměrně malá rychlost a při ohřevu v neřízených atmosférách vzniká u dosti materiálů podstatné okujení. Z důvodu již zmíněných nedostatků se od této metody pomalu odstupuje a nahrazuje ji ohřev indukční. Hlavní oblastí, kde se nepřímý odporový ohřev používá z důvodu pomalého ohřevu je tepelné a chemicko-tepelné zpracování materiálů a součástí.
- Indukční ohřev v oblasti tváření – proces, který se využívá stále častěji, oproti palivovým pecím a elektrickým ohřevům má několik výhod. Podstatou indukčního ohřevu je vložení kovového polotovaru do dutiny cívky, do které je přiveden střídavý elektrický proud, čímž dochází k indukovaní vířivých proudů vlivem magnetického pole. Hodnoty proudů jsou vysoké, tudíž dochází k rychlému ohřevu materiálu. Teplota však není po celém průřezu rozložena rovnoměrně, z celkového tepla vzniká přibližně 87% tepla na povrchu, čehož lze využít například k povrchovému kalení. Pro oblast tváření je nutné polotovary ohřát rovnoměrně po celém průřezu, čehož se dosahuje pomalejším ohřevem, vyšší doba ohřevu je však příčinou tvorby okujů a vzniku tepelných ztrát. Výhodou indukčního ohřevu je snadné řízení procesu, nenáročná mechanizace a vhodnost začlenění do automatizovaných linek. V porovnání s palivovými pecemi je indukční ohřev přibližně desetkrát rychlejší. Indukční ohřev lze snadno vypnout, proto při poruše tvářecího stroje nehrozí riziko spálení oceli, jako tomu bývá u pecí palivových. Indukční ohřev spotřebovává energii pouze při samotném ohřevu, čímž vzniká podstatná úspora energie oproti palivovým pecím, které musí být vytápěny neustále. Další výhodou indukčního ohřevu je přibližně šestkrát nižší zokujení, čímž nevzniká tak podstatné opotřebení tvářecích nástrojů a přídavky na materiál nemusí být tak velké.

Tab. 3 Vhodné kmitočty pro ocelový materiál při indukčním ohřevu [30]

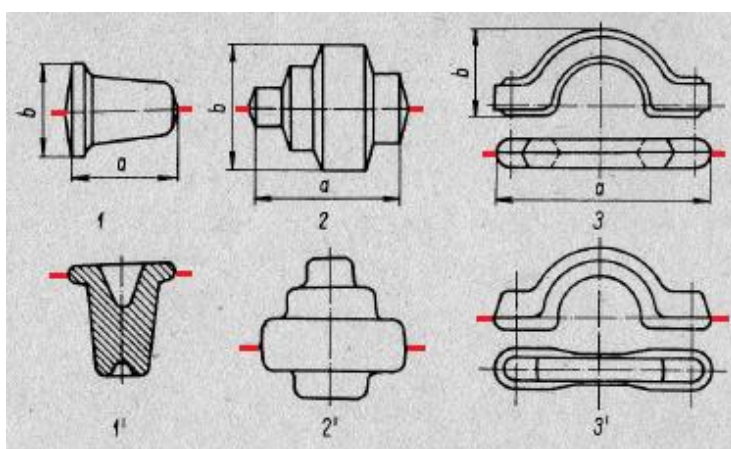
Průměr materiálu [mm]	170 ÷ 800	50 ÷ 170	35 ÷ 120	22 ÷ 70	15 ÷ 40
Kmitočet [Hz]	50	1 000	2 000	4 400	10 000

Jedním z doprovázejících jevů ohřevu je opal. Jeho vznik je zapříčiněn oxidací povrchové vrstvy při ohřevu materiálu v peci, jejíž atmosféra obsahuje kyslík, oxid uhličitý a vodní páru. Opal znamená ztrátu kovu při jednom ohřevu v rozmezí 1 ÷ 3 %. Mezi další nevýhody patří pokles životnosti tvářecího nástroje, vzniklé okuje bývají zatlačeny do povrchu tvářeného materiálu a je nezbytné jejich odstranění před další tvářecí nebo obráběcí operací atd. Hlavními faktory, jež ovlivňují množství vzniklých okujů je teplota a doba ohřevu, atmosféra pece a samotné chemické složení oceli.

## 2.2 Návrh výkovku [19], [23], [27], [28], [32]

Návrh tvaru výkovku se provádí dle výkresové dokumentace hotové součásti, zvoleného materiálu polotovaru a typu tvářecího stroje. Při tvorbě návrhu je přímo vhodná spolupráce konstruktéra s technologem, který v případě problému vydá pokyn ke změně jejího tvaru, tímto lze usnadnit postup kování. Při návrhu je nezbytné stanovit:

- Dělicí rovinu – je běžné umístit do roviny souměrnosti výkovku, není-li však toto možné, bývá umístěna do roviny dvou největších a na sebe kolmých rozměrů výkovku. V případě, že existuje varianta jiného umístění dělicí roviny, která by umožnila snížení hmotnosti výkovku nebo výronku, eventuálně poskytla zjednodušení procesu kování, je možné od předchozího pravidla upustit. Obecně je dělicí rovina určena jako plocha, jež rozděluje zápustku na jednotlivé části takovým způsobem, který umožní bezproblémové vyjmutí výkovku z dutiny zápustky. Umístění dělicí roviny má značný vliv na tok materiálu v dutině zápustky, proto při návrhu její pozice se také zohledňuje intenzivnější tok materiálu do horní části zápustky, příznivý průběh vláken a náročnost ostříhnutí výronku. Možnosti umístění dělicí roviny viz obr. 11.



Obr. 11 Možnosti umístění dělicí roviny [32]

- Technologické přídavky – volí se z důvodu často nevyhovujících tvarů hotových součástí pro zápustkové kování. Tyto součásti není možné vykovat pouze s přídavky na obrábění, a proto se jejich tvar přizpůsobuje zápustkovému kování technologickými přídavky. Mezi technologické přídavky patří především úkopy bočních stěn a upravení tloušťky žeber a den u tenkostěnných výkovků na takovou hodnotu, která zajistí jak ekonomicky, tak i kvalitně uspokojující proces kování.
- Přídavky na obrábění – při jejich určení se vychází z přesnosti, ve které je výkovek proveden. Čím je přesnost výkovku vyšší, tím nižší jsou přídavky. Do návrhu přídavku bývá také zohledněna tvařitelnost materiálu, ta může být zhoršena vlivem vysokého procenta uhlíku nebo legujících prvků, a proto se přídavky na obrábění volí větší. Velikost přídavku bývá zpravidla stejná pro všechny rozměry výkovku, určuje se na základě přesnosti největšího rozměru hotové součásti ve směru kolmém k rázu, což může být průměr a dle maximální výšky součásti, tedy ve směru rázu. Pro součásti, které nejsou rotačního tvaru, je největší rozměr výkovku ve směru kolmém k rázu určen jako průměrná hodnota součtu maximální šířky a délky součásti. Následující tabulka 4 uvádí přídavky na obrábění ploch pro zápustkové kování.

Tab. 4 Přídavky na obrábění ploch pro zápustkové kování [32]

Maximální rozměr hotové součásti ve směru kolmém k rázu [mm]		Maximální výška hotové součásti [mm]						
		přes	25	40	63	100	160	250
		do 25	40	63	100	160	250	400
přes	do	Přídavky na obrábění ploch						
	25	1,5	2,0					
25	40	1,5	2,0	2,0				
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5			
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	3,0		
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5	4,0
250	400	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5	4,0	4,5
400	630	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,5
630	1 000			3,5	3,5	4,0	4,5	5,5
1 000		dle domluvy						

- Úkosy – jejich velikost se stanoví na základě tvarové složitosti výkovku a druhu tvářecího stroje. Z důvodu smršťování při chladnutí výkovku bývá zvykem volit úkosy pro vnitřní plochy větší než pro plochy vnější. V tabulce 5 jsou uvedeny hodnoty úkosů pro zápustkové kování, které jsou obvykle.

Tab. 5 Hodnoty úkosů pro zápustkové kování [23]

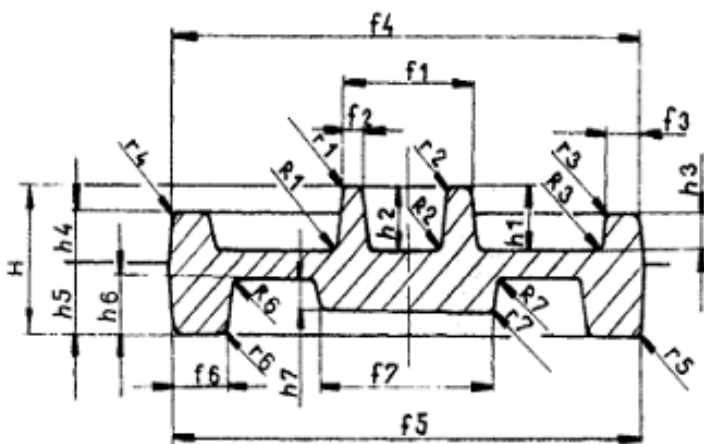
Stroj	Úkos	
	vnější	vnitřní
buchary a lisy – bez vyhazovače	7°	10°
lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
vodorovné kovací stroje	0° až 5°	0° až 5°

- Úprava tloušťky – pro tenkostěnné výkovky a žebra není doporučeno kování příliš štíhlých stěn, protože dochází k rychlému chladnutí oceli při kontaktu se zápustkou, což znesnadňuje tváření a způsobuje její rychlejší opotřebení. Z tohoto důvodu je nezbytné stěny štíhlých součástí zvětšovat o přídavek. Tabulka 6 uvádí minimální hodnoty pro tloušťku blán a stěn výkovku.

Tab. 6 Minimální tloušťka blán a stěn výkovku [23]

Maximální rozměr výkovku ve směru kolmém k rázu [mm]		Maximální výška výkovku [mm]							
		přes	10	25	40	63	100	160	250
		do 10	25	40	63	100	160	250	400
přes	do	Minimální tloušťka blány a stěny							
	40	4	5	6	7	9			
40	63	5	5	6	7	9	11		
63	100	6	6	7	9	11	13	15	
100	160	6	7	9	11	13	15	17	20
160	250	8	9	11	13	15	17	20	25
250	400	10	13	15	17	20	25	30	35
400	630			20	25	30	35	40	50
630	1 000			25	30	35	40	50	60

- Minimální poloměry zaoblení – volí se dle velikosti výkovku. Mezi jejich hlavní funkce patří zvýšení odolnosti výkovků vůči mechanickému namáhání, protože snižují velikost napětí v místě přechodů. Poloměry zaoblení dále ovlivňují přísun materiálu do dutiny a její vyplnění, velké zaoblení způsobuje vysokou spotřebu materiálu a malá zaoblení znesnadňují materiálový tok, mohou zapříčinit přeložky kovu a dochází k rychlejšímu opotřebování hran zápustky, což v extrémních případech vede k jejímu porušení trhlinou. Vnější a vnitřní zaoblení je znázorněno na obr. 12 a hodnoty poloměrů se přiřazují dle tab. 7.



Obr. 12 Vnější a vnitřní zaoblení hran výkovku [19]

Tab. 7 Zaoblení hran a přechodů výkovku [23]

Výška h [mm]		Vnitřní (r) a vnější (R) poloměr při uvažovaném poměru [mm]					
		h/f < 2		2 < h/f ≤ 4		h/f > 4	
přes	do	r	R	r	R	r	R
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25
100	160	8	20	8	25	16	40
160	250	12	30	16	45	25	65
250	400	20	50	25	75	40	100
400	630	30	80	40	120	65	150

## 2.3 Síla a práce [27], [29]

Před samotným návrhem zápusťky je potřeba znát stroj, na kterém bude výkovek zhotovován. Při kování na lisech se určuje kovací síla, kdežto u bucharu je nutné stanovit rázovou práci potřebnou k přetvoření materiálu při posledním úderu, u kterého je odpor vůči deformaci největší. Potřebnou práci uvádí norma ČSN 22 83 08 vztahem pro:

- Kruhový výkovek:

$$A = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_D) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_D}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_D^2) \cdot D_D \cdot \sigma_p \text{ [J]} \quad (2.1)$$

kde:

$D_D$  – odpovídá průměru výkovku [cm]

$\sigma_p$  – je přetvárný odpor za kovací teplot [MPa]

- Nekruhový výkovek:

$$A_n = A \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_D}{B_{Ds}}}\right) \text{ [J]} \quad (2.2)$$

kde:

$A$  [J] – je práce při dosazení za  $D_D = 1,13 \cdot \sqrt{F_D}$  do vzorce (2.1)

$L_D$  – odpovídá délce výkovku [cm]

$F_D$  – průmět plochy výkovku v kolmé ploše ke směru rázu [cm<sup>2</sup>]

$B_D$  – střední šířka výkovku;  $B_D = F_D/L_D$  [cm]

Další možností, jak určit velikost zápusťkového bucharu, je provést součin plochy průmětu výkovku včetně výronkového můstku a koeficientu měrné energie:

- Vztah pro určení potřebné práce:

$$A = S_v \cdot a \quad [J] \quad (2.3)$$

kde:

$S_v$  – jde o plochu průřezu výkovku se zahrnutím výronkového můstku [ $\text{mm}^2$ ]  
 $a$  – koeficient pro měrnou energii, který u uhlíkových ocelí dosahuje hodnot  $0,52 \div 0,73 \text{ J} \cdot \text{mm}^{-2}$ .

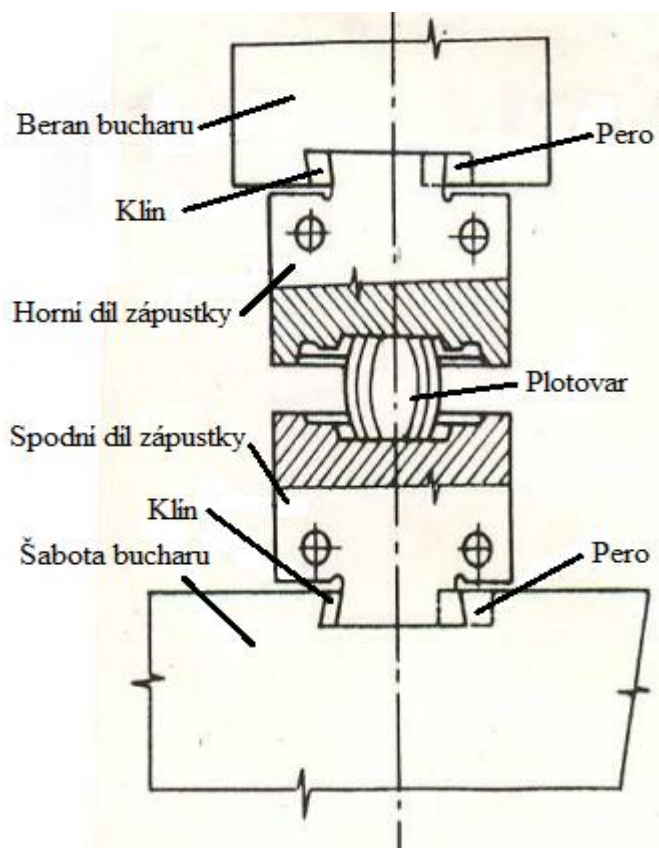
## 2.4 Zápustka [14], [15], [30], [34], [35]

Při návrhu zápustky je třeba znát tvar a materiál vyráběné součásti a také vlastnosti, které požaduje zákazník od výrobku. Přednostně je však třeba zvolit technologii zápustkového kování a stroj, na kterém se bude kovat.

V tomto případě jde o kování na bucharu, jehož hlavními výhodami je příznivé opadávání okují z povrchu výkovku a snadnější vyplňování horního dílu zápustky. Účinek rázu bucharu je také zohledňován při návrhu zápustek a jejich upínání. Ty jsou především zhotoveny jako celistvé bloky, jejichž velikost je určena tak, že mezi nejbližší dutinou zápustky a okrajem bloku musí být dodržena minimální vzdálenost, která je uvedena v nomogramu. Maximální hloubka zápustkové dutiny určuje minimální výšku zápustky, jež je následně odečtena z diagramu.

Jednotlivé části dutiny zápustky jsou nerovnoměrně namáhány a životnost zápustkových dutin je rozdílná. Z tohoto důvodu se někdy provádí částečné nebo úplné vložkování zápustek, jehož výhodou je úspora materiálových nákladů při výrobě zápustek. Vložky mohou být v bloku zápustky upevněny pomocí klínu nebo se provádí jejich uložení s přesahem a to za studena, za tepla nebo zmrazením vložky.

Požadavky na materiál nástroje se neustále zvyšují, obecně nástroj během tváření za tepla mívá trvale teplotu  $200^\circ\text{C}$  a vyšší. Vzhledem k tomu, že se nástroj dostává do kontaktu s materiálem ohřátým na teplotu kování, je teplota na pracovní ploše zápustky mnohem vyšší, často přesahuje hranici  $550^\circ\text{C}$ . Hodnota může být ještě vyšší a to při kování na lisech, což je způsobeno delší dobou styku zápustky s kovaným materiálem. V tenké povrchové vrstvě může dojít k austenitizaci, z nově vytvořeného austenitu vzniká po následném ochlazení bainit, případně martenzit, což zapříčiňuje vznik



Obr. 13 Nástroj pro zápustkové kování na bucharu [15]

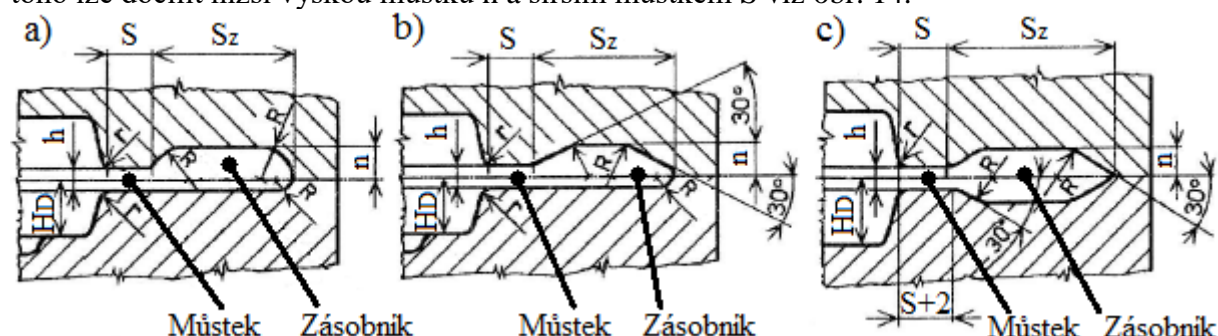
pnutí a trhlin, čímž klesá životnost zápustky. Na obr. 13 je znázorněn nástroj pro zápustkové kování na bucharu a následující tab. 8 uvádí používané materiály pro výrobu zápustek.

Tab. 8 Oceli na výrobu zápustek [14]

Nelegované oceli	19 103; 19 132; 19 152
Nízko a středně legované oceli	19 520; 19 642; 19 655; 19 662; 19 740
Vysokolegované oceli	19 561; 19 721; 19 723

#### 2.4.1 Výronková drážka [27], [29], [32]

Výronková drážka slouží jako regulátor tlaku v zápustkové dutině a zachycuje přebytečné množství materiálu. Mezi její hlavní části patří můstek a zásobník. Na obr. 14 jsou znázorněny jednotlivé typy výronkových drážek používaných pro bucharové zápustky. Nejčastěji používané jsou typ a) a b), typ c) je využíván pro tvarově složité výkovky, u nichž se počítá s větším množstvím přebytečného materiálu. Tlak v dutině zápustky je hlavně regulován můstkem, pro výkovky členitého tvaru je třeba dosáhnout větších měrných tlaků, toho lze docílit nižší výškou můstku  $h$  a širším můstkem  $S$  viz obr. 14.



Obr. 14 Normované typy výronkových drážek pro kování na bucharu [29]

- Velikost zaoblení na počátku můstku:

$$r = \frac{\sqrt{F_D}}{200} + 0,04 \cdot H_D \text{ [mm]} \quad (2.4)$$

kde:

$F_D$  – promítnutá plocha výkovku v ploše, která je kolmá na směr rázu [ $\text{mm}^2$ ]

$H_D$  – hloubka dutiny zápustky [mm]

- Vztah pro stanovení výšky můstku:

$$h = (0,015 \text{ až } 0,012) \cdot \sqrt{F_D} \text{ [mm]} \quad (2.5)$$

kde:

0,015 – volí se pro výkovky malých rozměrů

0,012 – volí se pro výkovky max. rozměrů

$F_D$  – promítnutá plocha výkovku v ploše, která je kolmá na směr rázu [ $\text{mm}^2$ ]

Po provedení výpočtu výšky můstku  $h$  se z následující tabulky (tab. 9) stanoví rozměry výronkové drážky – hodnoty jsou uvedeny v mm.



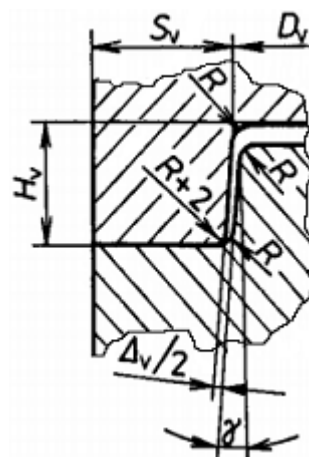
Tab. 9 Zbýlé rozměry výronkové drážky – bucharové zápustky [32]

		h=0,6	h=0,8	h=1,0	h=1,6	h=2,0	h=3,0	h=4,0	h=5,0
R, n		3	3	3	3,5	4	5	6	7
pěchování	S	6	6	7	8	9	10	11	12
	Sz	18	20	22	22	25	28	30	32
jednoduché protlačování	S	6	7	8	9	10	12	14	15
	Sz	20	22	25	25	28	32	38	40
složitě protlačování	S	8	9	10	11	12	14	16	18
	Sz	22	25	28	30	32	38	42	46

#### 2.4.2 Vedení [10], [16], [29], [30]

Vedení zápustek se využívá k získání výkovku v požadované přesnosti, obvykle se uplatňuje jen u jednodutinových zápustek, kdy samotné vedení beranu neumožňuje dosažení požadované přesnosti výkovku. Mezi základní druhy vedení patří:

- Kruhové (obvodové) – používá se pro kruhové či čtvercové zápustky a tehdy, kdy je výkovek rotačního tvaru. Obr. 15 znázorňuje tvar a rozměry vedení. Výška vedení  $H_v$  nabývá přibližně hodnot  $20 \div 60$  mm, zásadní vliv na ni má velikost bucharu a tvar výkovku, proto se při kování hlubokých dutin využívá výšky větší jak 60 mm. Pro čtvercové zápustky platí, že šířka vedení  $S_v = H_v$  a pro kruhové je  $S_v = 1,5H_v$ . Vedení je pod úhlem  $\gamma = 3^\circ \div 5^\circ$  a hrany bývají zaobleny  $R = 4 \div 8$  mm.
- Podélné, příčné a křížové vedení – je využíváno u zápustek obdélníkového tvaru. Podélným vedením se vymezuje přesazení v příčném směru, k vymezení přesazení ve směru podélném slouží příčné a jejich kombinací (křížové vedení) je možné vymezit přesazení v obou směrech. Vzhledem k velké pracnosti a vysoké spotřebě zápustkového materiálu se dosud uvedené metody příliš nepoužívají, ač umožňují spolehlivé vedení a tím získ kvalitních výkovků.
- Zámky pro zachycení posouvajících sil – jsou určeny hlavně pro zápustky s lomenou dělicí plochou, kdy při dopadu beranu vznikají síly, které zapříčiňují vychýlení zápustek do stran, čímž dochází k nežádoucímu přesazení výkovků.
- Vodící kolíky – nejvíce se používají pro zápustky podélného tvaru a jejich úkolem je zamezit přesazení výkovku a pohltit tlaky, které opotřebovávají vedení beranu bucharu. Nejčastěji se do rohů spodního dílu zápustky vkládají dva nebo čtyři kolíky. Jejich pozice se volí tak, že střed dutiny zápustky má odpovídat středu spojnice dvěma diagonálně umístěným kolíků, nebo průsečíku spojníc při použití čtyř kolíků.



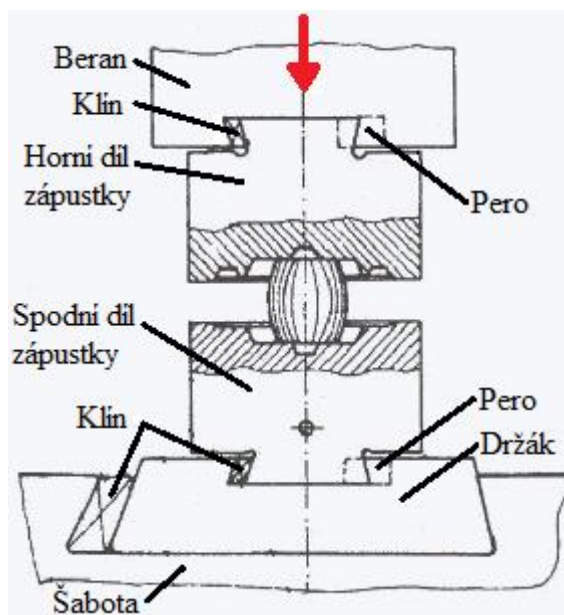
Obr. 15 K. vedení [15]

#### 2.4.3 Upínání [8], [10], [29],

Zápustky navrhované pro kování na bucharách se zhotovují s upínací plochou tvaru ryby, ta se umísťuje do rybinové drážky, kterou je opatřen beran i dolní držák zápustek bucharu. Pro zajištění spolehlivého upnutí je důležité, aby rozměry rybin zápustky byly totožné s rybinami bucharu, pro něž jsou zápustky navrhovány. V extrémních případech, kdy se rozměry neshodují, je možné upnutí realizovat pomocí redukcí. K samotnému upnutí slouží



klíny a pera. Klíny se provádí aretace zápustek ve vertikálním směru, jejich boční stěny jsou zhotoveny pod konkrétním úhlem ( $10^\circ$ ;  $12^\circ$ ) viz obr. 16 a dále je klín z jedné strany podélně zkosen v poměru 1 : 100. Těmto hodnotám musí odpovídat boční stěny ryby zápusťky, drážky beranu a držáku spodního dílu zápusťky, který se upíná do šaboty bucharu podobným způsobem. Pera jsou používána k zajištění a vystředění zápusťky ve směru horizontálním, umísťují se do oblasti kořene zápusťky. Při konstruování upevňovacích segmentů musí být dodržena pravidla, jako je minimální vůle  $s = 2 \text{ mm}$  mezi hloubkou rybinové drážky u bucharu a výškou ryby zápusťky, tímto opatřením je docíleno dosednutí maximálně namáhané oblasti zápusťky na základní plochu bucharu. Dále je třeba brát zřetel na poloměry zaoblení vnitřních a vnějších hran, kdy příliš velká zaoblení zmenšují kontaktní plochu mezi rybinou zápusťky a klínem atd.

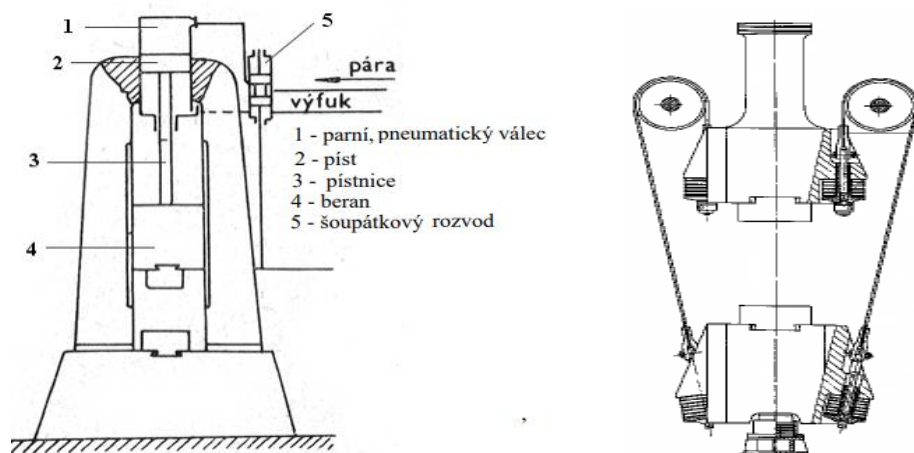


Obr. 16 Schéma upínání zápusťky bucharu [8]

## 2.5 Stroje [12], [18], [20], [31], [35]

Mezi nejčastěji používané stroje pro zápusťkové kování jsou řazeny buchary, hodí se pro malou až střední sériovost výroby a umožňují vykovat součásti různé tvarové složitosti. Hlavní rozdíl bucharu oproti lisu je ve způsobu přetvoření materiálu, kdy lis pracuje s postupně narůstající silou a buchar využívá síly rázu – úderu. Typy používaných bucharů:

- Dvojčinné parovzdušné buchary – jsou vhodné pro postupové kování. Beran je hmotnosti  $500 \div 25\,000 \text{ kg}$  a může být řízen nožním pedálem, poloautomaticky nebo automaticky za programové podpory.
- Protiběžné buchary – používají se pro kování obrovských součástí v jednodutinové zápusťce. Jejich produktivita výroby není s ohledem na nízkou četnost úderů vysoká.

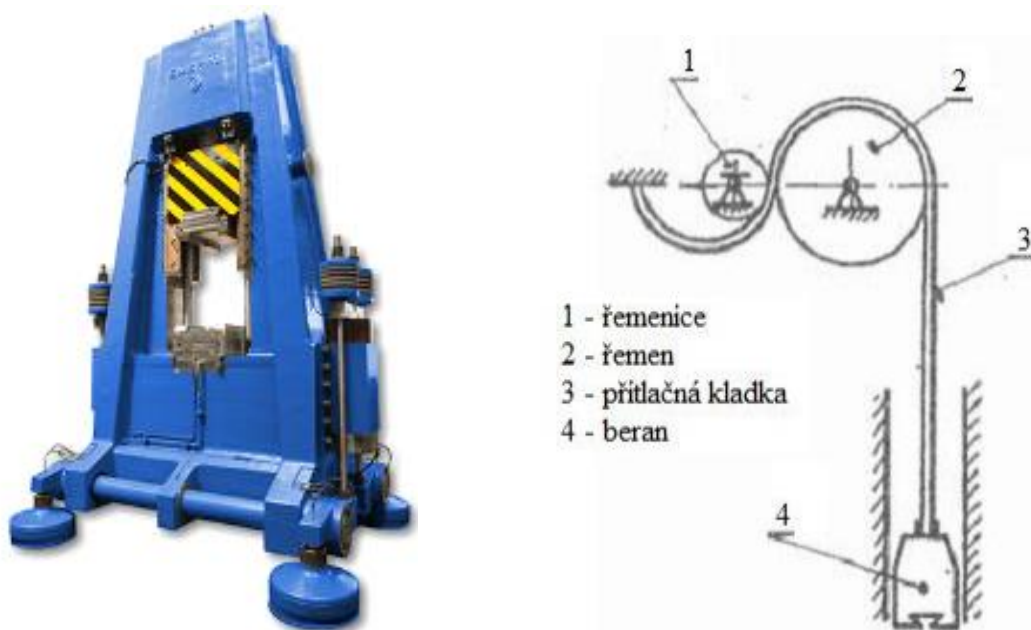


Obr. 17 Dvojčinný parovzdušný buchar a protiběžný buchar [33], [20]

- Pneumaticko-hydraulické buchary – slouží k přesnému zápusťkovému kování a kalibrování výkovků spíše plochých a štíhlých tvarů. K urychlení pohybu beranu se používá stlačený vzduch a tlakem kapaliny je řízeno nadzvedávání stojanu.

V bucharech tohoto typu jsou obsaženy výhody jak šabotových, tak protiběžných bucharů. Hydraulický rozvaděč řídí zdvih beranu do pracovní polohy, při tomto úkonu je beran urychlován pomocí stlačeného vzduchu a současně přivádí tlak kapaliny do hydraulických válců, které zároveň nadzvedávají stojan bucharu. Správně navrženými průměry hydraulických válců lze dosáhnout shody hybností pohybujících se hmot, tudíž nevznikají téměř žádné rázové účinky působící na základ bucharu.

- Padací buchary – dopadová rychlost beranu není nikterak urychlována, je vyvíjena pouze volným pádem. Hmotnost beranu je  $100 \div 2\,500$  kg a buchar je schopen vyvolat až 70 úderů za minutu. Jejich využití je hlavně pro kování součástí jednoduchých tvarů.



Obr. 18 Pneumaticko-hydraulický buchar a padací buchar [18], [35]

## 2.6 Maziva [10], [13], [27]

Hlavním úkolem maziv je snížit tření během kování mezi dutinou zápustky a tvářenou součástí, umožnit co nejsnadnější vyjmutí výkovku z dutiny a minimalizovat opotřebení zápustky otěrem. Existují dva druhy látek, které způsobují uvolnění výkovku, a to látky s převyšujícím mazacím nebo uvolňovacím účinkem. Mazací látky zabráňují ulpívání tvářeného kovu na stěnách zápustky a uvolňovací látky fungují tak, že při styku s materiálem ohřátým na kovací teplotu shoří, začne vznikat vodní pára a další plyny, čímž dochází k uvolnění výkovku. Mazivo má fungovat v širokém rozsahu teplot a těmto teplotám odolávat, dále odolávat vysokým tlakům a nesmí zanechávat tuhé zbytky. Maziva určená pro zápustkové kování se dělí do kategorií:

- Tuhá maziva – bývají rozptýlena ve vodě nebo v oleji. V praxi jsou nejvíce rozšířena maziva na bázi grafitu, jeho hlavními přednostmi je vysoká tepelná stabilita a vodivost.
- Kapalinná maziva – zaručují snadné oddělení výkovku od dutiny zápustky. Jde především o minerální, organické a emulgační oleje a syntetické látky.
- Konzistentní maziva – patří sem mazlavá mýdla a tuky. Nevýhodou je nutnost ručního aplikování na zápustku a tuhé zbytky maziva po vypaření tuků.

- Piliny – nejvíce používané k uvolnění výkovku z hluboké dutiny zápustky. Piliny za vysokých teplot shoří, dochází ke vzniku plynů a tím ke snadnému vyjmutí výkovku.
- Soli – jejich účinek tkví ve vypaření vody ze solného roztoku naneseného na funkční plochy zápustky, vzniká tenký film tvořený solnými krystaly, k němuž výkovek nemůže přilnout. Jako funkční látka roztoku se používá soda, chlorid sodný, dusičnan draselný atd.
- Sklo – nanáší se jako skelná vata, fólie nebo suspenze v nosiči, který se během ohřevu odpaří a následně roztavené sklo vytváří ochrannou vrstvu povrchu materiálu.

## 2.7 Technologičnost [18], [19], [29], [32], [38]

Před samotným návrhem konstrukce zápustky je třeba zhodnotit technologičnost kování a to s přihlédnutím na tvářený materiál, výrobní stroj, sériovost výroby, požadovanou přesnost součástí atd. Pravidla pro návrh konstrukce zápustky:

- Volba dělicí roviny – bývá zvykem ji umístit v rovině souměrnosti výkovku, případně do roviny dvou největších a na sebe kolmých rozměrů součástí, mimo jiné se také přihlíží k snadnějšímu toku materiálu do horní části zápustky a efektivnosti průběhu vláken.
- Přídavky na obrábění – pro jejich stanovení se vychází z přesnosti, ve které je výkovek zhotoven. Čím je přesnost vyšší, tím nižší se volí přídavky. Velikost přídavku se zpravidla pro jednotlivé rozměry výkovku neliší.
- Úkosity – volí se z důvodu co nejsnazšího vyjmutí výkovku z dutiny zápustky. Při chlazení výkovku dochází k jeho smršťování, čímž je zapříčiněno ulpívání vnitřních stěn výkovku na stěny zápustky, a proto se vnitřní úkosity volí větší.
- Minimální tloušťka stěn – platí pro výkovky obsahující tenké stěny, případně žebra. Tenká stěna kovu při kontaktu se zápustkou rychle chladne, což zapříčiňuje zvýšení deformačního odporu, z tohoto hlediska jsou tedy tvary výkovků upravovány.
- Poloměry zaoblení – ostré hrany na výkovku jsou nežádoucí, zapříčiňují znatelné opotřebení zápustky, které v mnoha případech vede k jejímu prasknutí. Tomu lze zabránit vhodnou volbou poloměru zaoblení, které sníží velikost napětí v místě přechodů. Návrh se provádí dle velikosti výkovku, malé poloměry znesnadňují materiálový tok a vedou k dřívějšímu opotřebení zápustky, naopak velká zaoblení způsobují vysokou spotřebu kovu.

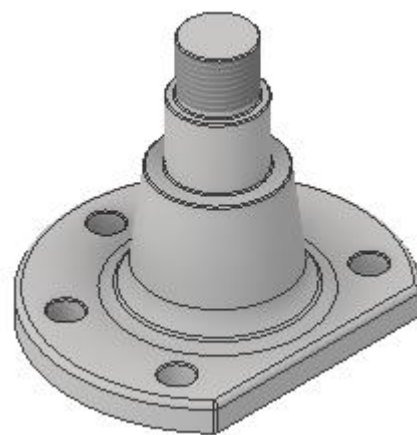
### 3 NÁVRH VÝROBY [2]

Vyráběnou součástí je čep s kruhovou přírubou viz obr. 17 z nízkolegované oceli 13 242. Celková výška součásti je 106 mm a největší průměr měří 114 mm. Kompletní výkresová dokumentace součásti je uložena v příloze. Jako nejvhodnější metoda výroby byla zvolena technologie zápusťkového kování s předpokládanou sérií 25 000 kusů za rok.

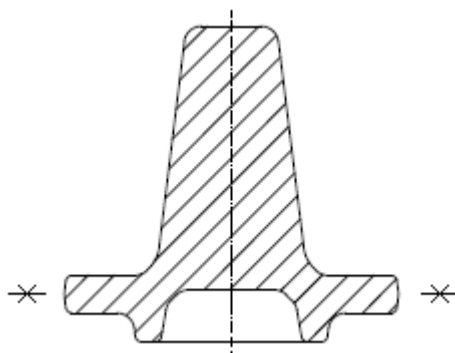
S přihlédnutím ke tvaru součásti a její roční produkci bude kování realizováno pomocí bucharu. Tento způsob kování se řadí mezi nejčastěji využívané metody tváření v zápusťce pro celou řadu jeho výhod, do kterých patří možnost zhotovení tvarově i výškově členitých výkovků, žeber atd. Hlavní charakteristikou procesu je však přínosné opadávání okují z povrchu tvářeného materiálu a jeho významnější tok do horní části zápusťky, kam bývají přednostně umísťovány vyšší části výkovku.

Aby byl zajištěn spolehlivý proces výroby a výsledný produkt odpovídal požadované kvalitě, je nutné provést návrh výkovku, pro který jsou stanovena jasná pravidla. Vychází se z výkresu součásti a musí být dodrženy následující zásady:

- Dělicí rovina – přímá, její poloha je zvolena v polovině výšky příruby, a současně je kolmá k hlavní ose čepu, viz obr. 18. Jak již bylo zmíněno, vyšší část výkovku má směřovat do horního dílu zápusťky.

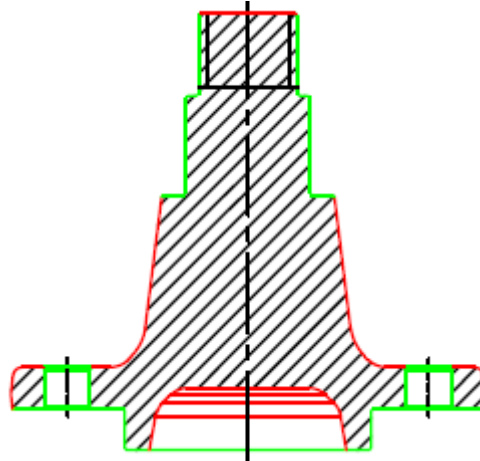


Obr. 19 Čep tažného zařízení



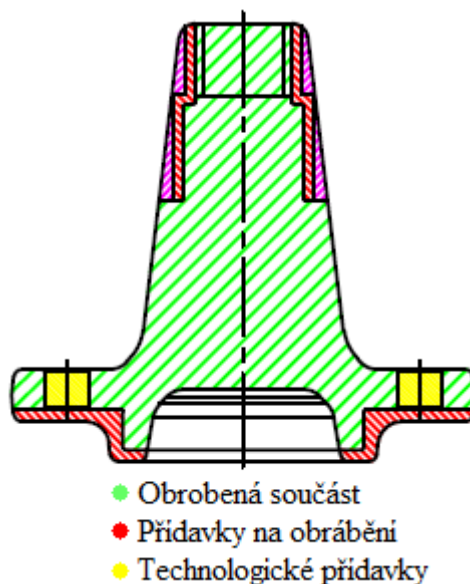
Obr. 20 Dělicí rovina výkovku

- Přídavky na obrábění – při stanovení jejich hodnoty se vychází z přesnosti, ve které je výkovek proveden, ta může být obvyklá, přesná nebo velmi přesná. U rotačních dílců se určují z maximální výšky hotového výrobku ve směru rázu a z maximálního rozměru ve směru kolmém k rázu, tedy průměru. Největší výška obrobeného čepu činí 106 mm a největší průměr měří 114 mm. Z tabulky 4 jsou na základě těchto hodnot určeny přídavky na obrábění 3 mm (obvyklá přesnost). Obráběné plochy jsou znázorněny na obrázku 19 zelenou barvou.



Obr. 21 Obráběné plochy výkovku

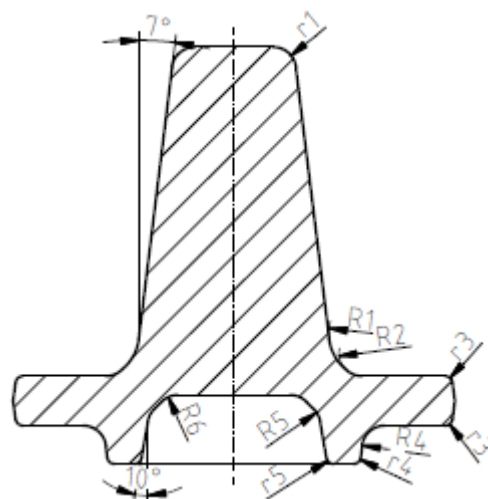
- Technologické přídavky – v tomto případě jsou jimi upraveny průchozí díry v přírubě výkovku. Předkování děr o takto malém průměru by bylo neefektivní, proto se neprovádí, díry tedy budou zhotoveny až při operacích trískového obrábění. Jednotlivé přídavky znázorňuje následující obr. 20.



Obr. 22 Přídavky na výkovku

- Úkosity – zaručují snadné vyjmutí výkovku z dutiny zápustky. S ohledem na chladnutí tvářeného materiálu, při kterém dochází ke smrštění, je doporučeno volit vnitřní úkosity větší než úkosity vnější. Jejich velikost je také ovlivněna typem tvářecího stroje, v tomto případě bude kování prováděno na bucharu, pro tento způsob jsou běžně používaná zkosení  $3^\circ$  a  $7^\circ$ .
- Zaoblení hran – ostré hrany vedou k nadměrnému opotřebení zápustky a znesnadňují tok kovu v její dutině, z těchto důvodů se provádí jejich úprava, kdy se vychází z poměru  $h/f$  a výšky (hloubky)  $h$ . Konkrétní hodnota rádiusu je přiřazena z tab. 7.

- Poměr:  $h/f$
- $r_1: 80,5/30 = 2,68 \Rightarrow r_1 = 6 \text{ mm}$
- $R_1: 80,5/51 = 1,58 \Rightarrow R_1 = 12 \text{ mm}$
- $R_2: 5,5/62 = 0,09 \Rightarrow R_2 = 6 \text{ mm}$
- $r_3: 6,5/114 = 0,06 \Rightarrow r_3 = 2 \text{ mm}$
- $r_4: 10/66 = 0,15 \Rightarrow r_4 = 2 \text{ mm}$
- $R_4: 10/66 = 0,15 \Rightarrow R_4 = 6 \text{ mm}$
- $r_5: 13/48 = 0,27 \Rightarrow r_5 = 2 \text{ mm}$
- $R_5: 13/48 = 0,27 \Rightarrow R_5 = 6 \text{ mm}$
- $R_6: 5/34 = 0,15 \Rightarrow R_6 = 6 \text{ mm}$

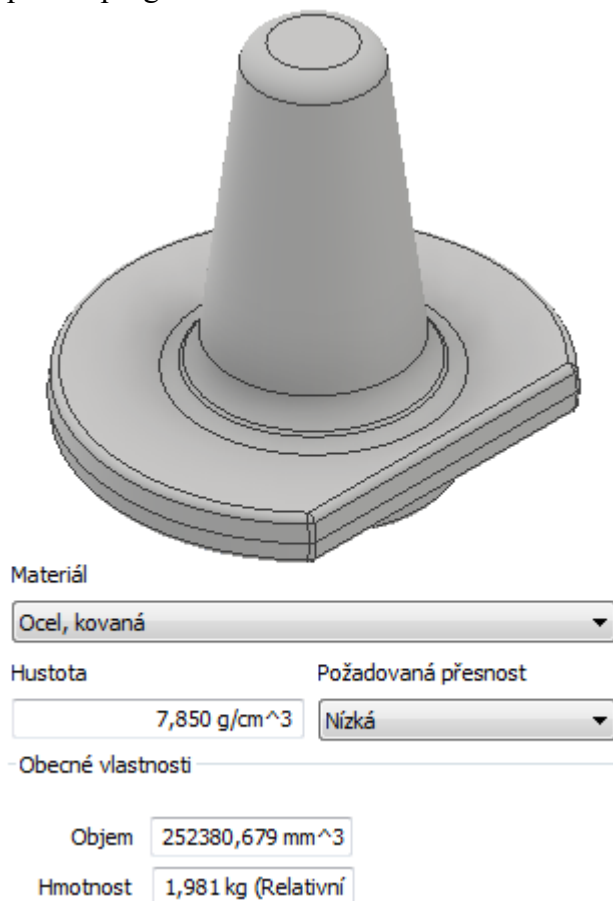


Obr. 23 Poloměry zaoblení

### 3.1 Stanovení mezních úchylek [2]

Aby bylo možné výkovku přiřadit úchylky, je třeba kromě jeho rozměrů znát také jeho hmotnost, tvar dělicí plochy, druh tvářené oceli, ukazatel členitosti tvaru a druhy rozměrů.

- Hmotnost výkovku – může být vypočítána, nebo stanovena pomocí 3D modeláře, jako tomu bylo v tomto případě, kdy byl použit program Inventor Professional 2017 od společnosti Autodesk. Pro kovanou ocel o hustotě  $7\,850\text{ kg/m}^3$  tato hmotnost činí 1,981 kg (viz obr. 22).
- Tvar dělicí plochy – dělicí rovina byla zvolena v oblasti příruby, její tvar je tedy přímý.
- Druh tvářené oceli – použitý materiál ovlivňuje stupeň obtížnosti kování. Vysoké procento uhlíku a legujících prvků obsažené v oceli vede k nadměrnému opotřebování zápustek. Jsou rozlišovány dvě skupiny stupně obtížnosti kování. A to skupina M1, kam se řadí oceli obsahující max. 0,65% uhlíku a 5% legur. Oceli přesahující tyto hodnoty náleží skupině M2. Zvolený materiál výkovku je s ohledem na jeho složení viz tab. 2 zařazen do skupiny M1.
- Ukazatel členitosti tvaru – slouží jako kompenzace rozměrových odchylek, které vznikají při kování tenkostěnných součástí větší, než jak tomu bývá u výkovků jednoduchých tvarů. To je zapříčiněno nestejným smrštěním, vyššími silami při tváření a nižší životností zápustky. Pro výpočet ukazatele je třeba kromě hmotnosti výkovku znát také hmotnost obalového tělesa, v tomto případě válce o průměru 114 mm a výšce 109 mm, ta je dána vztahem:



Obr. 24 Hmotnost výkovku

$$m_{\text{obalového tělesa}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \rho \text{ [kg]} \quad (3.2)$$

$$m_{\text{obalového tělesa}} = \frac{\pi \cdot 11,4^2}{4} \cdot 10,9 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} = 8,734 \text{ kg}$$

kde: d – průměr obalového tělesa [cm]

$\rho$  – hustota tvářené oceli [ $7,85 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$ ]

h – výška válce [cm]



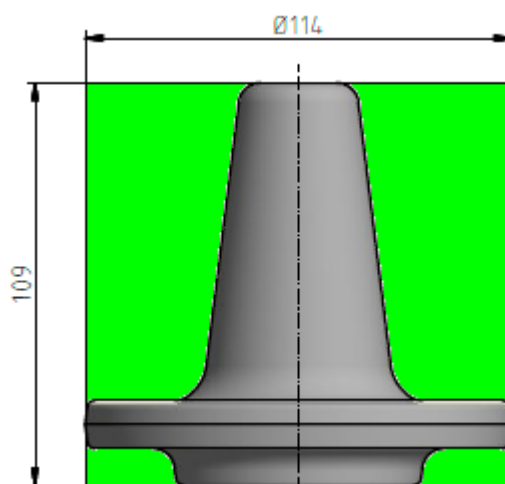
Po výpočtu hmotnosti obalového tělesa lze určit samotný ukazatel členitosti tvaru S, ten je dán poměrem hmotnosti výkovku ke hmotnosti obalového tělesa:

$$S = \frac{m_{\text{výkovku}}}{m_{\text{obalového tělesa}}} \quad (3.3)$$

$$S = \frac{1,981}{8,734} = 0,227 \Rightarrow \text{skupina S3}$$

Vypočtený ukazatel členitosti tvaru je zařazen do jedné z těchto skupin:

- Skupina S 4; do 0,16
  - Skupina S 3; od 0,16 do 0,32
  - Skupina S 2; od 0,32 do 0,63
  - Skupina S 1; od 0,63 do 1
- Podle normy ČSN EN 10243-1 jsou následně určeny mezní úchyly délky, šířky a výšky. Ke stanovení jejich hodnoty byl zvolen obvyklý stupeň přesnosti kování „F“, dále je třeba znát hmotnost výkovku, stupeň obtížnosti kování a ukazatel členitosti tvaru. Doporučením je aplikovat mezní úchyly pro maximální délku výkovku na všechny délkové rozměry, samozřejmě pokud je to možné. U výšky a šířky tomu je podobně. Mezní úchyly platící pro daný výkovek jsou zaznamenány v následující tabulce tab. 10.

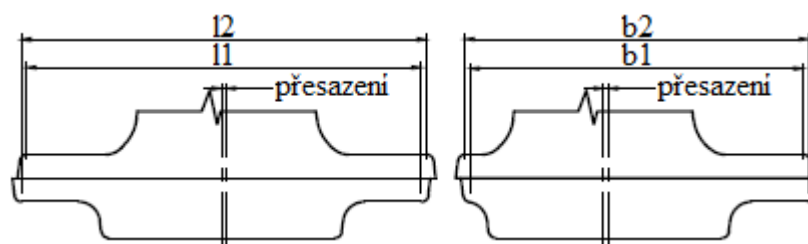


Obr. 25 Znárodnění obalového tělesa

Tab. 10 Hodnoty úchylek délky, šířky a výšky výkovku [2]

Rozměr	Rozměr na výkovku [mm]		
	přes 0 do 32	přes 32 do 100	přes 100 do 160
	Úchyly [mm]		
Vnější	+1,3; -0,7	+1,5; -0,7	+1,7; -0,8
Vnitřní	+0,7; -1,3	+0,7; -1,5	+0,8; -1,7

- Úchyly přesazení – určují dovolený rozsah souososti mezi libovolným bodem ležícím na jedné straně dělicí roviny a totožným bodem na straně protilehlé v rovnoběžných směrech s hlavní dělicí rovinou zápustky. Úchyly jsou závislé na hmotnosti výkovku a na tvaru dělicí roviny zápustky. Použití tohoto typu úchylek je nezávislé na ostatních úchylnkách. Měření přesazení se doporučuje provádět v takových místech výkovku, která opotřebením zápustky ovlivňuje co nejméně. Následující obrázek obr. 24 znázorňuje přesazení na výkovku.



Obr. 26 Přesazení výkovku

Podle obrázku 24 lze přesazení vypočítat následujícími vztahy, a to v jakékoliv poloze k délce nebo šířce výkovku:

$$\text{přesazení} = \frac{l_2 - l_1}{2} = \frac{111,92 - 109}{2} = 1,46 \text{ mm} \quad (3.4)$$

$$\text{přesazení} = \frac{b_2 - b_1}{2} = \frac{94,92 - 92}{2} = 1,46 \text{ mm} \quad (3.5)$$

kde:  $l_1$  – menší z promítnutých délek, měří se rovnoběžně s hlavní dělicí rovinou  
 $l_2$  – větší z promítnutých délek  
 $b_1$  – menší z promítnutých šířek, měří se rovnoběžně s hlavní dělicí rovinou  
 $b_2$  – větší z promítnutých šířek

S ohledem na hmotnost a tvar dělicí roviny je dle normy ČSN EN 10243-1 výkovku přidělena tolerance přesazení 0,7 mm.

- Úchylky pro otřep a sestřižení – jsou důsledkem rozdílného ostřížení. Dovolené hodnoty jsou určeny z normy dle hmotnosti a tvaru dělicí roviny výkovku, ty činí +0,8 mm pro otřep a -0,8 mm pro sestřižení.
- Úchylky přímosti, rovinnosti – přiřazují se výkovku podle jmenovitého rozměru a stupně přesnosti kování, který byl zvolen jako „F“. Hodnoty jsou uvedeny v tab. 11.

Tab. 11 Úchylky přímosti, rovinnosti [2]

přes - do		Jmenovité rozměry [mm]		
		0 ÷ 100	100 ÷ 125	125 ÷ 160
		Úchylky [mm]		
Stupeň	F	0,6	0,7	0,8
	E	0,4	0,5	0,5

- Úchylky pro zaoblené hrany a přechody – jsou určeny jako procenta příslušného zaoblení. Jsou-li hrany zaobleny do 3 mm, tak se záporné úchylky nepoužívají. Následně uvedené vztahy sloužící ke stanovení hodnoty odchylky je možné použít pro stupeň přesnosti kování „E“ i „F“.



zaoblení hrany při  $r \leq 10 \text{ mm}$ :  $r_{-25\% \cdot r}^{+50\% \cdot r} \text{ mm}$

zaoblení přechodu při  $R \leq 10 \text{ mm}$ :  $R_{-25\% \cdot R}^{+50\% \cdot R} \text{ mm}$

zaoblení přechodu při  $10 < R \leq 32 \text{ mm}$ :  $R_{-20\% \cdot R}^{+40\% \cdot R} \text{ mm}$

Výpočet úchylek pro jednotlivá zaoblení čepu:

$$r_1 = 6_{-1,5}^{+3} \text{ mm}$$

$$r_{3,4,5} = 2_0^{+1} \text{ mm}$$

$$R_1 = 12_{-2,4}^{+4,8} \text{ mm}$$

$$R_{2,4,5,6} = 6_{-1,5}^{+3} \text{ mm}$$

### 3.2 Ohřev polotovaru

Před samotnou operací tváření se musí polotovar ohřát na kovací teplotu, ta je normou pro materiál 13 242 uváděna jako 1100 až 800 °C. Jako nejvhodnější způsob k dosažení kovací teploty byla zvolena metoda indukčního ohřevu, která vyniká řadou výhod, jako je minimální zokujení, snadná automatizace a vysoká rychlost oproti jiným zařízením. Průměr ocelového přířezu spadá do oblasti 35 ÷ 120 mm, pro kterou je doporučený kmitočet proudu 2000 Hz.

### 3.3 Výronková drážka – tvar a velikost

K určení velikosti a tvaru výronkové drážky je třeba znát obsah promítnuté plochy výkovku  $S_D$  v rovině kolmé ke směru rázu (viz obr. 25). Ten byl stanoven pomocí programu Inventor Professional 2017 na 8434,51 mm<sup>2</sup>. Z této hodnoty bude následně vypočtena výška můstku  $h$ , ze které vychází ostatní rozměry drážky. Do vztahu je dosazena hodnota 0,015, která je platná pro výkovky menších rozměrů.

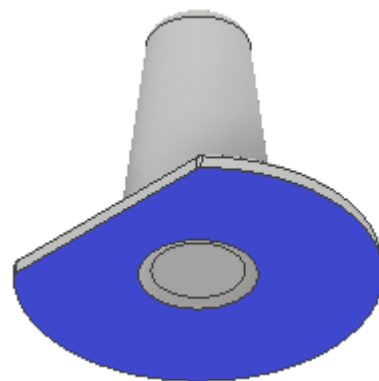
$$h = (0,015 \div 0,012) \cdot \sqrt{S_D} \quad (3.9)$$

$$h = 0,015 \cdot \sqrt{8434,51} = 1,378 \text{ mm}$$

Výška můstku se volí jako nejbližší vyšší hodnota, to znamená  $h_m = 1,6 \text{ mm}$ .

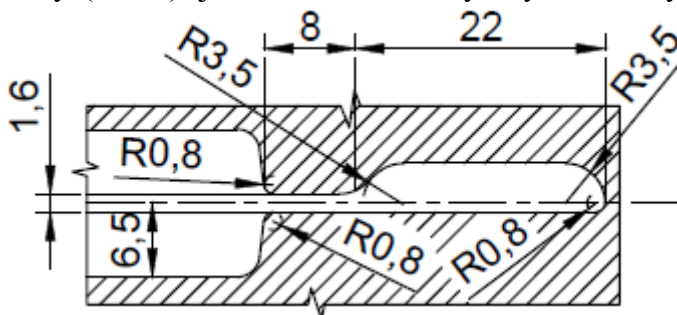
Poloměr zaoblení  $r$  na počátku můstku vychází z obsahu promítnuté plochy výkovku  $S_D$  a maximální hloubky zápuskové dutiny  $H_D$ , která měří 6,5 mm. Je dán vztahem:

$$r = \frac{\sqrt{S_D}}{200} + 0,04 \cdot H_D \quad (3.10)$$
$$r = \frac{\sqrt{8434,51}}{200} + 0,04 \cdot 6,5 = 0,719 \text{ mm} \Rightarrow \text{zvoleno } 0,8 \text{ mm}$$



Obr. 27 Promítnutá plocha

Po zařazení výšky můstku  $h_m$  do tabulky (tab. 9), jsou následně určeny zbylé rozměry výronkové drážky, jež je znázorněna na obr. 26, její obsah plochy příčného průřezu činí  $102 \text{ mm}^2$ . Byl zvolen obvykle používaný typ drážky, jež má zásobník přebytečného kovu umístěný v horní části zápustky. U tvarově složitých výkovků je třeba v dutině dosáhnout vyšších tvářecích tlaků, čehož lze dosáhnout úpravou rozměrů můstku, a to zmenšením jeho výšky a zvětšením šířky.



Obr. 28 Výronková drážka

### 3.4 Velikost výchozího polotovaru [10], [32]

Velikost výchozího polotovaru se stanoví na základě celkového objemu polotovaru, ten je tvořen objemem výkovku, výronku a přídavkem na ztráty, které jsou zapříčiněny opalem. Objem výkovku byl určen pomocí programu Inventor Professional 2017 (viz obr. 22), odpovídá  $252380,679 \text{ mm}^3$ . Zbylé hodnoty budou vypočteny dle následujících vztahů:

- Objem výronku – je vypočítán podle Guldinovy věty, pro niž je třeba znát obsah plochy příčného průřezu drážky a průměr  $D_t$ , jež je vztažen k těžišti plochy výronku.

$$D_t = D + 2 \cdot s + \frac{s_z}{2} \quad (3.11)$$

$$D_t = 114 + 2 \cdot 8 + \frac{22}{2} = 141 \text{ mm}$$

kde:  $D$  – největší průměr výkovku [mm]

$s$  – délka můstku [mm]

$s_z$  – délka zásobníku přebytečného kovu [mm]

Objem výronku – Guldinova věta:

$$V_{výr} = S_{výr} \cdot 0,5 \cdot \pi \cdot D_t \quad (3.12)$$

$$V_{výr} = 102 \cdot 0,5 \cdot \pi \cdot 141 = 22591,193 \text{ mm}^3$$

kde:  $S_{výr}$  – obsah plochy průřezu výronkové drážky [ $\text{mm}^2$ ]

0,5 – vyjadřuje zaplnění výronkové drážky, zvoleno 50 %

$D_t$  – průměr vztažený k těžišti plochy výronku [mm]

- Objem přídavků na opal – u indukčního ohřevu jsou ztráty vzniklé opalem velice malé, tvoří asi 1 % z objemu výkovku s výronkem.

$$V_{op} = 0,01 \cdot (V_v + V_{výr}) \quad (3.13)$$

$$V_{op} = 0,01 \cdot (252380,679 + 22591,193) = 2749,719 \text{ mm}^3$$

Celkový objem výkovku je dán součtem již zmíněných objemů, a to:

$$\begin{aligned} V_c &= V_v + V_{výr} + V_{op} \\ V_c &= 252380,679 + 22591,193 + 2749,719 = 277\,721,591 \text{ mm}^3 \end{aligned} \quad (3.14)$$

Nyní budou vypočteny konkrétní rozměry válcového polotovaru, kdy je třeba dbát na to, aby byl dodržen štíhlostní poměr  $\lambda = L_0/D_0 = 2,8 \div 1,5$ ; (zvoleno  $\lambda = 2,3$ )

$$\begin{aligned} D_0 &= \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot \lambda}} \\ D_0 &= \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 277721,591}{\pi \cdot 2,3}} = 53,57 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.15)$$

kde:  $D_0$  – průměr výchozího polotovaru [mm]  
 $V_c$  – celkový objem výkovku [mm<sup>3</sup>]  
 $\lambda$  – štíhlostní poměr

$$\begin{aligned} L_0 &= \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_0^2} \\ L_0 &= \frac{4 \cdot 277721,591}{\pi \cdot 53,57^2} = 123,22 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Kde:  $L_0$  – délka výchozího polotovaru [mm]  
 $V_c$  – celkový objem výkovku [mm<sup>3</sup>]  
 $D_0$  – průměr výchozího polotovaru [mm]

Vzhledem ke stabilnějšímu uložení polotovaru v dutině zápustky je zvolen průměr přířezu 60 mm, k tomu je následně přepočítána výška a ověřen štíhlostní poměr.

$$\begin{aligned} L_0 &= \frac{4 \cdot 277721,591}{\pi \cdot 60^2} = 98,22 \text{ mm}; \text{ zvoleno } 98 \text{ mm} \\ \lambda &= \frac{L_0}{D_0} = \frac{98}{60} = 1,633 \Rightarrow \text{vyhovuje} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Jako polotovar je zvolena ocelová tyč válcovaná za tepla o průměru 60 mm a délce 98 mm.

### 3.5 Volba stroje [16], [18]

Pro volbu stroje je nutné znát práci, která bude potřebná pro přetvoření polotovaru ve výkovek. Přetvárný odpor se mění v závislosti na teplotě předeřevu materiálu. Provolbu stroje bude uvažovaný předeřev na spodní hranici kovací teploty, tedy nejhorší možná stav. Pro stanovení přetvárné práce posledního uderu se uvažuje kovací teplota oceli 13 242 na hodnotě 900 °C, což odpovídá přetvárnému odporu 154 Mpa. Aby bylo možné výkovek správně usadit do kovací dutiny bude nutné předkování, kde v předkovací dutině bude předkován dutina součástí, která bude zajišťovat správné usazení polotovar v dokovací dutině.

Pro výpočet je znát největší průměr součásti s šířkou můstku číní, který činí 130 mm pro dokování. Předkovací dutina nemá výronkovou drážku, největší průměr předkovku je 65 mm.

- Přetvárná práce pro předkování dutiny součásti

$$A_1 = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_D) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_D}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_D^2) \cdot D_D \cdot \sigma_p =$$

$$18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_D) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{6,5}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot 6,5^2) \cdot 6,5 \cdot 154 =$$

$$= 40\,502,8\,J$$

- Přetvárná práce pro dokování

$$A_2 = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_D) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_D}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_D^2) \cdot D_D \cdot \sigma_p =$$

$$18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_D) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{13}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot 13^2) \cdot 13 \cdot 154 =$$

$$= 48\,680,2\,J$$

- Celková přetvárná práce

$$A_c = A_1 + A_2 = 40\,502,8 + 48\,680,2 = 89\,183\,J \quad (3.18)$$

Kování daného čepu bude probíhat na bucharu, vzhledem k tomu, že výkovek je menších rozměrů, dochází k lepší zabíhavosti do horní dutiny zápustky a dalším benefitům, které přináší kování na bucharu.

Výrobní podnik již má buchar KHZ 8A od výrobce Šmeral. Tento stroj disponuje jmenovitou tvářecí energií 80 kJ. Vypočtená přetvárná práce je přibližně 89 kJ, ovšem byl uvažovaný nejhorší možný stav s ohřevem na dolní hranici kovací teploty, při ohřevu na běžnou kovací teplotu má dostatek energie. Potenciál silnějšího stroje by nebyl využit a docházelo by ke zkracování životnosti zápustky. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 12.



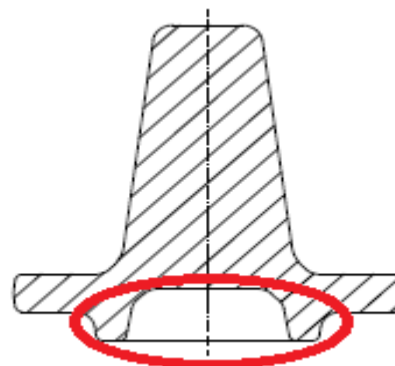
Obr. 29 Šmeral KHZ 8A [18]

Tab. 12 Parametry stroje [18]

Typ stroje	KHZ 8A	
Tvářecí energie	80	kJ
Upínací prostor zápustek	342 x 670	mm
Nejmenší výška zápustek	400	mm
Maximální zdvih beranu	600	mm
Počet zdvihů beranu	16	min <sup>-1</sup>
Celkový instalovaný výkon	110	kW
Rozměry stroje	3,9 x 3,5 x 2,5	m

### 3.6 Volba nástroje – zápustky [2], [8], [23]

Součást nebude možné vykovat pouze v jedné dutině, protože by nebylo možné správně usadit polotovár do dutiny zápustky, kvůli čemuž by při kování mohlo dojít k posunutí polotovaru. Výkovek bude muset být předkováný ve předkovací dutině. V předkovací dutině se zhotoví dutina součásti viz obr.30, která je na výkovku nutná z důvodu lepšího toku materiálu. Díky této dutině v součásti bude možné předkovek správně usadit do dokovací dutiny a nebude tak hrozit jeho vychýlení.



Obr. 30 Dutina součásti

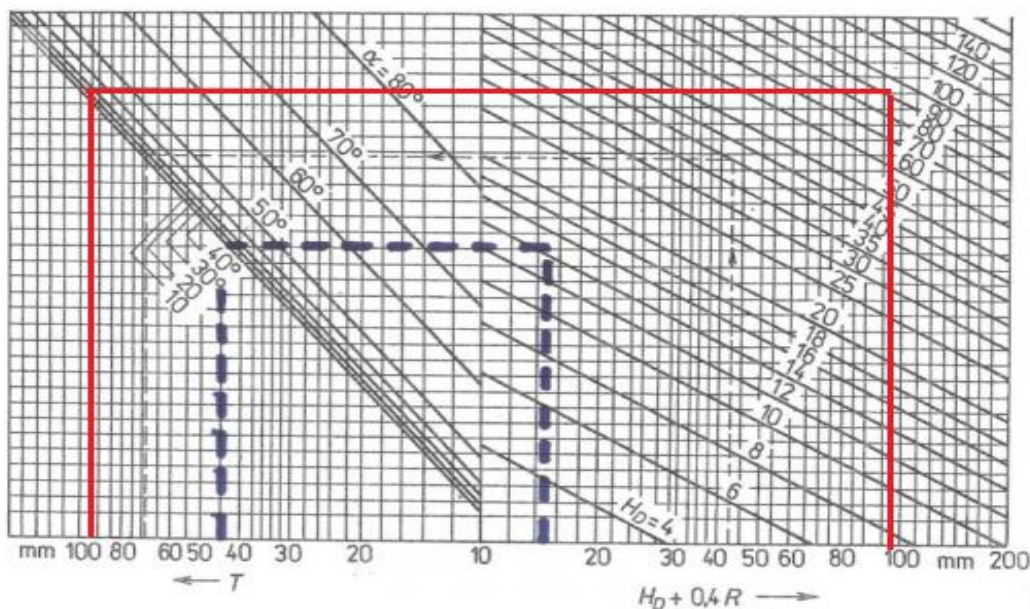
Obě dutiny budou v jedné zápustce, přičemž kování bude probíhat v obou zápustkách současně, aby byl rovnoměrněji zatížený beran bucharu a vodící kolíky.

Minimální vzdálenost dutiny od okraje bloku zápustky je určena prostřednictvím nomogramu obr. 31. Ta se určí pomocí  $T$  hodnoty odečtené ze zmíněného nomogramu. Aby ji bylo možné určit, musí být známy hodnoty hloubky dutiny  $H_D$ , poloměr  $R$ , a úkos  $\alpha$ .

$$H_D + 0,4 \cdot R \quad (3.19)$$

$$92,5 + 0,4 \cdot 6 = 94,9 \text{ mm}$$

Výpočet byl proveden pro horní díl dokončovací zápustky, jelikož má největší hloubku dutiny.



Obr. 31 Nomogram pro určení  $T$  hodnoty [8]

V nomogramu na obr. 31 je červeně znázorněné odečítání.  $T$  hodnota odpovídá 98 mm.

Výška zápustky – výrobce bucharu uvádí minimální výšku zápustky 400 mm, proto ji není nutné stanovovat na základě hloubky dutiny a musí být vyhověno požadavkům bucharu.

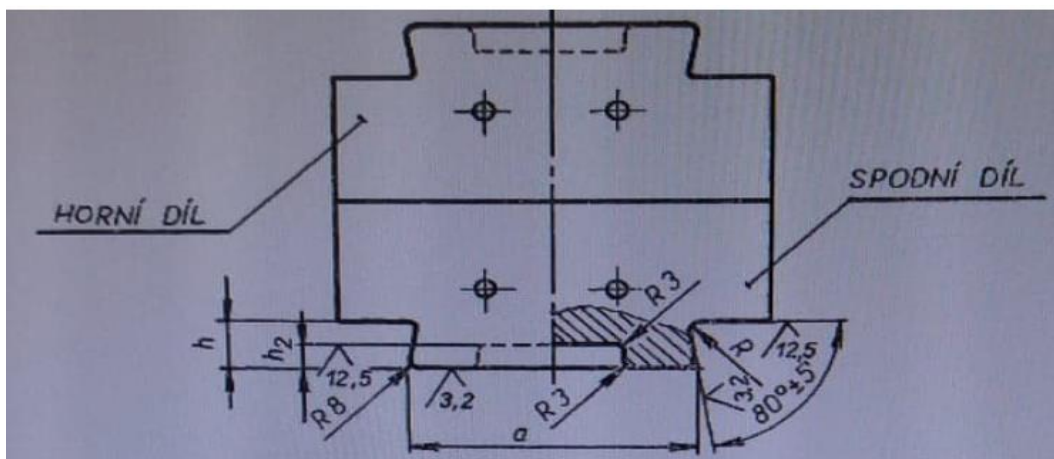
Vedení zápustky – o vedení zápustky se budou starat čtyři vodící kolíky, které zajistí dostatečné vymezení vŕlí a zachytí síly vzniklé při tváření. Jelikož se jedná o poměrně masivní zápustky, proto byly vybrány kolíky o průměru 36 mm.

Umístění vodících kolíků:

$$a = \frac{5}{6} \cdot d_k + 10 = \frac{5}{6} \cdot 36 + 10 = 40 \text{ mm} \quad (3.20)$$

kde:  $d_k$  – průměr kolíku [mm]

Stanovení rozměrů kořenů zápustky – odečtení dle normy ČSN 21 1414 viz tab. 13.



Obr. 32 Stanovení rozměrů kořenů [8]

Tab. 13 Rozměry kořenů zápustky [8]

Tvářecí energie bucharu	Základní rozměry v [mm]						
	a	h	h <sub>2</sub>	f	g	R	R <sub>1</sub>
80 kJ	300	63 ± 0,5	32	200	80	8	20

Materiál zápustky – zápustka bude vyrobená z oceli 19 663. Jedná se nízkolegovanou chrom-nikl-molybden-vandovou ocel. Vybrány materiál dokáže odolávat rázům od bucharu a tepelné únavě.

Tab. 14 Chemické složení oceli 19 663 [23]

Chem. Značka	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Chem. Složení [hm. %]	0,5-0,6	0,3-0,6	0,5-0,9	max 0,03	max 0,03	0,9 - 1,3	0,3 -0,5

Tab. 15 Stanovení úchylek rozměrů dokončovací dutiny [2]

Jmenovitý rozměr v mm	Mezní úchylky v mm			
	+ kolmé na ráz	-	+ ve směru rázu	-
0 až 20	0,1	0,05	0,05	0,03
21 až 80	0,2	0,1	0,1	0,05
81 až 160	0,3	0,15	0,15	0,08

#### 4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Výsledná cena čepu tažného zařízení je složená z několika vstupních faktorů. Z důvodu neznalosti nakladu na pracovníky, výrobních marží a další faktorů, se technicko – ekonomické zhodnocení zabývá pouze náklady na materiál polotovaru a náklady na pořízení kovacího nástroje. Veškerá strojní zařízení potřebná pro výrobu čepu jsou již součástí strojového parku společnosti, proto se neuvažují náklady na jejich nákup. Jedná se tedy pouze o orientační výpočet nákladů, který uvažuje sérii 25 000 kusů ročně.

- Náklady na materiál polotovaru – vstupním polotovarem pro výkovek je kruhová tyč o  $\varnothing 60 \times 6000$ , vyrobená válcováním za tepla z oceli 13 242. Cena materiálu se odvíjí od odebíraného množství, vývoje cen ocelí na burze a také od zvoleného dodavatele. Proto tento výpočet uvažuje cenu 25 Kč/kg. Pro zpřesnění výpočtů nákladu na materiál uvažuje prodání odpadového materiálu do kovošrotu za výkupní cenu 4 Kč/kg. Odpadovým materiálem se myslí nevyužité zbytky polotovaru a odstřižený výronek. Pro výpočty je nutné znát hmotnost výkovku, která byla určena prostřednictvím software Inventor a její velikost činí 1,981 kg. Následné obrábění výkovku nebude realizováno firmou, proto se do technicko – ekonomického zhodnocení neuvažuje.

Počet přířezu z jedné tyče:

Tyč bude dělaná pomocí pásové pily s pilovým pásem o tloušťce 0,9 mm.

$$n_p = \frac{L_t}{L_p + t} = \frac{6\,000}{98 + 0,9} = 60,67 \text{ ks} \quad (4.1)$$

kde:  $L_t$  – celková délka tyče [mm]

$L_p$  – délka přířezu [mm]

$t$  – tloušťka pilového pásu [mm]

Počet přířezů z jedné tyče vyšel 60,67, výsledek je nutné zaokrouhlit na celé nižší číslo. Z jedné tyče je tedy možné vyhotovit 60 přířezů.

Počet tyčí potřebných na sérii 25 000 výkovků:

$$n_t = \frac{n_s}{n_p} = \frac{25\,000}{60} = 416,67 \text{ ks} \quad (4.2)$$

kde:  $n_s$  – velikost roční série [ks]

$n_p$  – počet přířezu z jedné tyče [ks]

Pro roční sérii je třeba 417 tyčí

Hmotnost jedné tyče:

$$m_t = L_t \cdot \frac{D_{t2}^2 \cdot \pi}{4} \cdot \rho_o \cdot 10^{-9} = 6\,000 \cdot \frac{60^2 \cdot \pi}{4} \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = 133,17 \text{ kg} \quad (4.3)$$

kde:  $D_{t2}$  – průměr tyče [mm]

$\rho_o$  – hustota oceli [ $\text{kg} \cdot \text{mm}^{-3}$ ]

Výpočtem pomocí hustoty a rozměru je hmotnost jedné tyče stanovená na 133,17 kg.



Materiálové náklady na tyč:

$$N_t = m_t \cdot p = 133,17 \cdot 25 = 3\,329,25 \text{ Kč} \quad (4.4)$$

kde:  $N_t$  – náklady na jednu tyč [Kč]

$p$  – cena 1 kg oceli [Kč/kg]

Materiálové náklady na sérii:

$$N_s = N_t \cdot n_t = 3\,329,25 \cdot 417 = 1\,388\,297,25 \text{ Kč} \quad (4.5)$$

kde:  $N_s$  – náklady pro sérii [Kč]

$n_t$  – počet tyčí na sérii 25 000 ks [ks]

Cena za prodaný odpad:

$$p_o = (m_t \cdot n_t - m_{\check{c}} \cdot n_s) \cdot p_{\check{s}} = (133,17 \cdot 417 - 1,981 \cdot 25\,000) \cdot 4 = 24\,028 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

kde:  $p_{\check{s}}$  – cena železného šrotu [Kč/kg]

$m_{\check{c}}$  – hmotnost výkovku bez výronku [kg]

Tab. 16 Roční materiálové náklady

Položka	Cena [Kč]
Náklady na materiál	1 388 299
Cena za prodaný odpad	24 028
Celkové náklady na materiál	1 364 271

- Náklady na nástroj – náklady na nástroj, tedy zápustku zahrnují výdaje na materiál, obrobení, tepelné zpracování a maté marže výrobce. Odborné odhady nákladu na zápustku jsou shrnuty v tabulce 14. Životnost jedné zápustky je stanovena na 15 000 výkovků.

Počet zápustek na roční sérii:

$$n_z = \frac{n_s}{\check{z}_z} = \frac{25\,000}{15\,000} = 1,67 \text{ ks} \quad (4.7)$$

kde:  $\check{z}_z$  – životnost zápustky

Z uvedeného vztahu (4.7) plyne, že na výrobu čepu budou třeba ročně dvě zápustky.

Tab.17 Náklady na nástroj

Nástroj	Cena [Kč]		
	Na materiál	Na výrobu	Celkem
Zápustka	28 000	45 000	73 000
Sada na rok	56 000	90 000	146 000

Cena jednoho nástroje byla odborným odhadem stanovena na 73 000 Kč. Z potřeby dvou zápustek na rok plynou roční náklady na nástroj ve výši 146 000 Kč.



## 5 ZÁVĚRY

Práce se zabývá návrhem výroby čepu tažného zařízení používaného u traktoru. Jde o součást válcovitého tvaru s kruhovou úsečí. Součást bude muset odolávat dynamickému namáhání, z tohoto důvodu bude vyráběná z nízkolegované oceli 13 242. Velikost roční série je stanovena na 25 000 kusů. Vzhledem k sérii a požadavkům na vlastnosti byla z několika možných metod vybrána technologie zápustkového kování.

Při plánování výroby se postupovalo podle několika základních pravidel. Prvním krokem bylo stanovení geometrie výkovku s mezními úchylkami a dělicí rovinou. Z důvodu rychlosti a nejmenšího opalu byla pro ohřev zvolena indukční pec. Dalším důležitým parametrem, co byl řešený je výronková drážka. Došlo k návrhu jejího tvaru se zakótováním příslušných parametrů. Polotovarem pro výrobu bude 98 mm vysoký válec o průměru 60 mm. Celková přetvárná práce byla vypočtená asi 89 kJ. S ohledem na přetvárnou práci, sérii, tvar, velikost a strojový park podniku byl zvolen jako tvářecí stroj buchar KHZ 8A od firmy Šmeral. Nástroj bude vyrobený z oceli 19 663. Půjde o nástroj s dvěma dutinami, čep musí být v první dutině předkován, aby jej bylo možné v té druhé správně ustavit. V první dutině tedy dojde k předkování dutiny čepu, pomocí které bude v druhé dutině usazen a následovně vykován. Po vykování bude následovat odstřižení výronku.

Protože nebylo známo dostatečné množství informací, tak se technicko – ekonomické zhodnocení zabývalo pouze náklady na materiál a na výrobu nástroje. Náklady na materiál byly stanoveny na 1 364 271 Kč, přičemž byl uvažovaný i prodej odpadu do kovošrotu. Náklady na výrobu zápustky byly odhadnuty na 73 tisíc.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Čep nosiče 5511-7515. *Agrico: e-shop* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://eshop.agrico-sro.cz/eshop-cep-nosice-zetor-5511-7515.html>
2. ČSN EN 10243-1, Ocelové zápustkové výkovky – Mezní úchytky rozměrů. Část 1, Výkovky kované na bucharech a svislých kovacích lisech, 2003. Praha: Český normalizační institut.
3. ČSN 21 1414, Tvářecí stroje. Upínání zápustek pro protiběžné buchary, 1971. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření.
4. ČSN 41 3242: *Ocel 13 242 Mn-V*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření., 1978.
5. Frézování. *Pavel Dušánek: Obchodní zastoupení Walter CZ* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.walter-nastroje.cz/index.php/frezovani>
6. Galerie portfolia výrobků divize Kovárna a kalírna. *Ostroj* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.ostroj.cz/galerie-kovarna-a-kalirna>
7. Hák se spojovacím čepem a pojistkou G8. *Hovorka lana – řetězy* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.lana-retezy.cz/hak-se-spojovacim-cepem-a-pojistkou>
8. Historie. *Katedra strojírenské technologie* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/05-protlacovani/14-nastroj.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/05-protlacovani/14-nastroj.jpg)
9. Kalení I. *Kovárna* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [http://kovarna.webzdarma.cz/stranky/zakladni\\_postupy/kaleni1.htm](http://kovarna.webzdarma.cz/stranky/zakladni_postupy/kaleni1.htm)
10. HAŠEK, Vladimír. *Kování: quarterly of criticism and review*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. ISBN 04-233-65.
11. Kování zápustkových výkovků. *Ostroj* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.ostroj.cz/kovani-zapustkovych-vykovku>
12. HÝSEK, Rudolf. *Machines de formage Tchécoslovaques pour métaux et matières plastiques*. 2., upr. vyd. Praha: Strojimport, 1962. Řada strojírenské literatury.
13. MODERNÍ KONCEPTY MAZÁNÍ PRO POUŽITÍ V NÁROČNÝCH KOVÁŘSKÝCH TECHNOLOGIÍCH. *Fortech* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://fortech.zcu.cz/export/sites/fortech/publications/2007/Kov-Hartwig.pdf>
14. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRABSKÝ. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994.
15. Návrh zápustky. *SPSS Brno* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY\\_32\\_INOVACE\\_20-06.pdf](http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_20-06.pdf)
16. Nízkolegované konstrukční oceli třídy 13, jejich složení a tepelné zpracování. *Tumlikovo* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/nizkolegovane-konstrukcni-oceli-tridy-13-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>

17. Ojnice. *Zetor: Zetor kovárna* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://zetor-kovarna.testujeme.cz/ojnice>
18. PNEUMATICKO-HYDRAULICKÉ BUCHARY. *Šmeral* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/buchary.html>
19. PODKLADY PRO TECHNOLOGICKÝ POSTUP ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ. *Fakulta strojní ČVUT* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/Uploads/vykovek-zadani.pdf>
20. Protiběžný buchar BECHE 40. *CVTS* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://cvts.zcu.cz/protibezny-buchar-beche-40/>
21. Protlačování. *Katedra strojní technologie* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/05-protlacovani/14-nastroj.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/05-protlacovani/14-nastroj.jpg)
22. Rázový plochý maticový klíč KENNEDY. *Náradí online* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.naradionline.cz/razovy-plochy-maticovy-klic-kennedy.html>
23. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
24. Svařování. *Fakulta strojní ČVUT* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT\\_01\\_Prehled\\_svarovani\\_T08.pdf](https://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT_01_Prehled_svarovani_T08.pdf)
25. Svařování nerezů, hliníku a oceli. *Promat* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.promatcz.cz/cz/cnc-vyroba/svarovani-nerezu-hliniku-oceli/>
26. Technologie objemového tváření – kování. *Technická univerzita Liberec Fakulta strojní* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/03.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm)
27. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
28. PRIMUS, František. *Teorie objemového tváření*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1979.
29. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
30. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
31. HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje*. 3., upravené a dopln. vyd. Praha: SNTL, 1980. Řada strojírenské literatury.
32. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1992. Technický průvodce. ISBN 80-030-0651-1.

33. Tváření za tepla, zápusťkové kování. *SPSS Brno* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY\\_32\\_INOVACE\\_20-04.pdf](http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_20-04.pdf)
34. ZÁKLADY KONSTRUKCE ZÁPUSTEK. *Members.marticonet* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [https://members.marticonet.sk/jkuba/Prierezoblas%C5%A5ou/zaklady\\_konstrukce\\_zapustek.pdf](https://members.marticonet.sk/jkuba/Prierezoblas%C5%A5ou/zaklady_konstrukce_zapustek.pdf)
35. STANĚK, Jiří. *Základy stavby výrobních strojů: tvářecí stroje*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-708-2738-6.
36. Základy teorie a technologie slévárenství. *Fmmi VŠB* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [http://katedry.fmfi.vsb.cz/Opory\\_FMFI/618/618-Zaklady\\_teorie\\_a\\_technologie\\_slevarenstvi.pdf](http://katedry.fmfi.vsb.cz/Opory_FMFI/618/618-Zaklady_teorie_a_technologie_slevarenstvi.pdf)
37. Za pěstování kukuřice pionýři dostali Zetor. V muzeu traktorů jsou i další skvosty. *Aktuálně* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/unikatni-maly-zetor-vyhrali-pionyri-za-pestovani-kukurice-v/r~43853fec340611e8a44c0cc47ab5f122/>
38. Zápusťkové kování. [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/Uploads/vykovek-zadani.pdf>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Výpočet práce	[J]
A <sub>1</sub>	Přetvárná práce předkování	[J]
A <sub>2</sub>	Přetvárná práce dokování	[J]
A <sub>c</sub>	Celková přetvárná práce	[J]
A <sub>N</sub>	Výpočet práce pro nekruhový výkovek	[J]
a	Koeficient pro měrnou energii	[-]
B <sub>D</sub>	Střední šířka výkovku	[cm]
b <sub>1</sub>	Menší z promítnutých šířek	[mm]
b <sub>2</sub>	Větší z promítnutých šířek	[mm]
D	Největší průměr výkovku	[mm]
D <sub>0</sub>	Průměr výchozího polotovaru	[mm]
D <sub>D</sub>	Průměr výkovku	[cm]
D <sub>t</sub>	Průměr drážky	[mm]
D <sub>t2</sub>	Průměr tyče polotovaru	[mm]
d	Průměr obalového tělesa	[mm]
F <sub>D</sub>	Průmět plochy výkovku v kolmé ploše ke směru rázu	[cm <sup>2</sup> ]
H <sub>D</sub>	Hloubka dutiny zápustky	[mm]
h	Výšky můstku	[mm]
L <sub>0</sub>	Délka výchozího polotovaru	[mm]
L <sub>D</sub>	Délka výkovku	[cm]
L <sub>t</sub>	Délka tyče	[mm]
L <sub>p</sub>	Délka přířezu	[mm]
l <sub>1</sub>	Menší promítnutá délka	[mm]
l <sub>2</sub>	Větší promítnutá délka	[mm]
m <sub>ě</sub>	Hmotnost výkovku bez výronku	[kg]
m <sub>výkovku</sub>	Hmotnost výkovku	[kg]
m <sub>obal. tělesa</sub>	Hmotnost obalového tělesa	[kg]
m <sub>t</sub>	Hmotnost tyče	[kg]
n <sub>p</sub>	Počet přířezu	[-]
n <sub>s</sub>	Velikost roční série	[-]
n <sub>t</sub>	Počet tyčí	[-]
N <sub>t</sub>	Náklady na tyč	[Kč]
N <sub>s</sub>	Materiálové náklady na sérii	[Kč]
p	Cena 1 kg oceli	[Kč]
p <sub>o</sub>	Cena za prodaný odpad	[Kč]
p <sub>s</sub>	Cena šrotu	[Kč]
r	Poloměr zaoblení na počátku můstku	[mm]
S	Ukazatel členitosti tvaru	[-]
S <sub>D</sub>	Promítnutá plocha výkovku	[mm <sup>2</sup> ]
S <sub>v</sub>	Plocha průmětu výkovku se zahrnutím výronkového můstku	[mm <sup>2</sup> ]
S <sub>výronku</sub>	Plocha výronku	[mm <sup>2</sup> ]
s	Délka můstku	[mm]
s <sub>z</sub>	Délka zásobníku přebytečného kovu	[mm]
t	Tloušťka pilového pásu	[mm]
V <sub>c</sub>	Celkový objem	[mm <sup>3</sup> ]
V <sub>op</sub>	Objem přídavku na opal	[mm <sup>3</sup> ]
V <sub>v</sub>	Objem výkovku	[mm <sup>3</sup> ]
V <sub>výronku</sub>	Objem výronku	[mm <sup>3</sup> ]
Ž <sub>z</sub>	Životnost zápustky	[-]

Označení	Legenda	Jednotka
$\delta$	Opal	[%]
$\lambda$	Součinitel zaplnění výronkové drážky	[-]
$\rho$	Hustota materiálu	[kg.m-3]
$\rho_o$	Hustota oceli	[kg.m-3]
$\sigma_p$	Přetvárný odpor za kovací teploty	[MPa]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Součásti zhotovené zápustkovým kováním [5], [6], [16], [21] .....	9
Obr. 2 Čep; Tažné zařízení [1], [36] .....	10
Obr. 3 Čep nosiče zařízení .....	10
Obr. 4 Obrábění [4] .....	11
Obr. 5 Svařování [24] .....	12
Obr. 6 Odlévání [35] .....	12
Obr. 7 Protlačování [20] .....	13
Obr. 8 Zápustkové kováání [10] .....	13
Obr. 9 Postup kováání na bucharu [25] .....	14
Obr. 10 Oblast kováacích teplot [8] .....	14
Obr. 11 Možnosti umístění dělicí roviny [31] .....	18
Obr. 12 Vnější a vnitřní zaoblení hran výkovku [18] .....	20
Obr. 13 Nástroj pro zápustkové kováání na bucharu [14] .....	22
Obr. 14 Normované typy výronkových drážek pro kováání na bucharu [28] .....	23
Obr. 15 K. vedení [16] .....	24
Obr. 16 Schéma upínání zápustek bucharu [7] .....	25
Obr. 17 Dvojčinný parovzdušný buchar a protiběžný buchar [32], [19] .....	25
Obr. 18 Pneumaticko-hydraulický buchar a padací buchar [17], [34] .....	26
Obr. 19 Čep tažného zařízení .....	28
Obr. 20 Dělicí rovina výkovku .....	28
Obr. 21 Obráběné plochy výkovku .....	28
Obr. 22 Přídavky na výkovku .....	29
Obr. 23 Poloměry zaoblení .....	29
Obr. 24 Hmotnost výkovku .....	30
Obr. 25 Znázornění obalového tělesa .....	31
Obr. 26 Přesazení výkovku .....	32
Obr. 27 Promítnutá plocha .....	33
Obr. 28 Výronková drážka .....	34
Obr. 29 Šmeral KHZ 8A [16] .....	36
Obr. 30 Dutina součásti .....	37
Obr. 31 Nomogram pro určení T hodnoty [8] .....	37
Obr. 32 Stanovení rozměrů kořenů [8] .....	38



## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení oceli 13 242 [3] .....	11
Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 13 242 [3] .....	11
Tab. 3 Vhodné kmitočty pro ocelový materiál při indukčním ohřevu [29] .....	17
Tab. 4 Přídavky na obrábění ploch pro zápustkové kování [31] .....	19
Tab. 5 Hodnoty úkosů pro zápustkové kování [22] .....	19
Tab. 6 Minimální tloušťka blán a stěn výkovku [22] .....	20
Tab. 7 Zaoblení hran a přechodů výkovku [22] .....	21
Tab. 8 Oceli na výrobu zápustek [13] .....	23
Tab. 9 Zbylé rozměry výronkové drážky – bucharové zápustky [31] .....	24
Tab. 10 Hodnoty úchylek délky, šířky a výšky výkovku [2] .....	31
Tab. 11 Úchyly přímosti, rovinnosti [2] .....	32
Tab. 12 Parametry stroje [16] .....	36
Tab. 13 Rozměry kořenů zápustky [8] .....	38
Tab. 14 Chemické složení oceli 19 663 [8] .....	38
Tab. 15 Stanovení úchylek rozměrů dokončovací dutiny [8] .....	38
Tab. 16 Roční materiálové náklady .....	40
Tab. 17 Náklady na nástroj .....	40

## **SEZNAM VÝKRESŮ**

Výkovek čepu	BP-01-191808
Zápustka	BP-02-191808